WISE-Paris
World Information Service on Energy

L'option nucléaire contre le changement climatique

Risques associés, limites et frein aux alternatives



Yves MARIGNAC
Manon BESNARD

Octobre 2015

Rapport commandé par les Amis de la Terre, la Fondation Heinrich Böll, France Nature Environnement, Greenpeace, le Réseau action climat - France, le Réseau Sortir du nucléaire, et WISE Amsterdam
sous la coordination du Réseau action climat - France

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

Sommaire

Avant-propos **3**

Introduction **4**

Partie 1 - Des risques indissociables du recours au nucléaire **5**

1.1. La prolifération, menace occultée, majeure et persistante 6
La porosité entre usages civils et militaires / L'hiver nucléaire, première menace globale de l'histoire

1.2. Un risque réévalué et croissant d'accident nucléaire 7
De la théorie à la réalité / Des conséquences désastreuses / Des menaces croissantes

1.3. L'accumulation des déchets, matières et sites 8
Une ressource épuisable et polluante / Des déchets sans solution / Les défis du démantèlement

Partie 2 - Une efficacité limitée sur la baisse des émissions **9**

2.1. Des émissions de CO_2 indirectes mais pas nulles 10
Les émissions du nucléaire en « cycle de vie » / La comparaison des émissions par filière de production

2.2. Des émissions évitées dépendantes du « mix » 11
Les émissions substituées par le nucléaire en fonction du « mix » / L'impact déclinant de la substitution

2.3. Une contribution historique marginale à la maîtrise des émissions… 12
Le gonflement de son rôle par l'industrie nucléaire / Un rôle réalistement limité et marginal

2.4. Un rôle énergétique et climatique en déclin 13
Le nucléaire, une énergie en perte de vitesse / Le pic de la contribution du nucléaire

2.5. Un champ d'action restreint 14
Le nucléaire dans le champ global des émissions / La France, illustration des limites de la substitution

Partie 3 - Un frein aux solutions les plus performantes **15**

3.1. Les limites au volontarisme 16
Un changement d'échelle impossible / Le plafonnement du nucléaire dans les scénarios

3.2. Une dynamique tournée vers d'autres options 17
Une confiance artificielle dans le nucléaire / Le boom des énergies renouvelables

3.3. Le nucléaire, option non compétitive 18
Un coût incomplet et croissant / Les émissions évitées par euro investi

3.4. Un levier d'action insuffisant 19
Des effets peu évidents et lents / Une option secondaire en Chine / Un choix inapproprié pour de nouveaux pays

3.5. Une option non nécessaire 20
La mise en œuvre d'alternatives / Les enseignements du Japon / La démonstration proposée par l'Allemagne

3.6. Un obstacle à la transition énergétique 21
Le nucléaire existant dans la transition / L'éclairage fourni par la France / L'opportunité du 100 % renouvelables

Synthèse **22**

Des risques irréductibles 22

Une efficacité limitée et déclinante 22

Un frein à la mise en œuvre d'une stratégie cohérente 22

Glossaire des sigles **23**

Principales références **23**

Avant-propos

La lutte contre le changement climatique influence de plus en plus les politiques énergétiques. En effet, réduire la consommation d'énergies fossiles, et la production de dioxyde de carbone associée, est le principal levier de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Faut-il pour autant mettre sur le même plan toutes les solutions disponibles pour « décarboner » l'énergie ? Le rôle du nucléaire, qu'on le veuille ou non, fait débat. À la promotion de l'atome comme seule énergie « non carbonée » massivement disponible répond la mise en avant de risques inacceptables.

La question est plus complexe, et mérite un examen plus global. C'est à cette mise à plat qu'invite la présente analyse. Et si celle-ci commence effectivement par la discussion des risques, c'est parce que l'argument du carbone ne peut être dissocié d'une réponse sur ce point : le recours au nucléaire, quelques soient ses bénéfices réels ou supposés, s'accompagne de problèmes spécifiques qui ne peuvent être négligés.

Mais c'est aussi pour aborder ensuite la question sous d'autres angles, qui méritent tout autant d'être discutés. Des réponses peuvent ainsi être apportées, indépendamment des risques, sur la mesure des émissions effectivement « évitées » par le nucléaire – un sujet plus difficile qu'il n'y paraît mais crucial pour évaluer sérieusement le potentiel de l'option nucléaire pour ramener les émissions à leur niveau souhaitable.

Plus largement, au-delà de la mise en balance de ces deux aspects dont chacun pourra juger, c'est bien la cohérence du recours au nucléaire dans une politique globale de lutte contre le changement climatique qu'il faut pouvoir interroger. En effet, avec les énergies renouvelables et les économies d'énergie, d'autres options existent. L'idée que toutes les actions peuvent mathématiquement s'additionner ne fonctionne pas dans la réalité, où leur mise en œuvre s'articule de façon plus ou moins efficace. La place du nucléaire dans le bouquet de solutions peut s'analyser à la fois par rapport aux objectifs climatiques les plus ambitieux, et aux autres bénéfices attendus de la transition énergétique.

Risques associés au recours au nucléaire contre le changement climatique, efficacité de cette source d'énergie pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, articulation de cette option au sein d'une politique cohérente et ambitieuse de lutte contre le changement climatique… Si le document choisit de traiter ces questions dans cet ordre, il est volontairement conçu en séquences bien distinctes : chaque lecteur pourra ainsi le parcourir comme il le souhaite, dans l'ordre le plus à même de répondre à ses préoccupations.

Cette synthèse s'adresse en effet à tous, et son ambition est que chacun, porteur de convictions dans un sens ou dans l'autre sur le sujet ou au contraire désireux de se faire une opinion, y trouve sous une forme aussi factuelle et informative que possible matière à réflexion.

Contact

Yves MARIGNAC, Directeur de WISE-Paris

Tél. +33 (0)6 07 71 02 41

E-mail yves.marignac@wise-paris.org

31-33 rue de la Colonie, 75013 Paris - FRANCE

WISE-Paris (Service Mondial d'Information sur l'Energie) est une agence d'information, d'étude et de conseil sur le nucléaire et sur l'énergie, de statut associatif, créée en 1983 et basée à Paris. WISE-Paris est totalement indépendant de tout autre organisme portant le nom de WISE.

Introduction

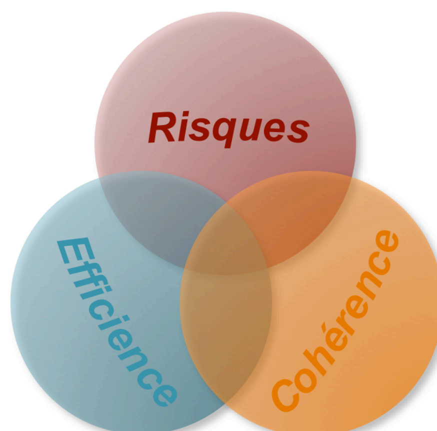
Le changement climatique constitue incontestablement un risque majeur. Le cinquième rapport du GIEC*, publié en 2013 et 2014, est venu rappeler et confirmer l'urgence d'une réaction internationale face à la menace du changement climatique. L'objectif de limiter, avec un bon niveau de confiance, à deux degrés la hausse des températures globales entre l'ère préindustrielle et 2100, nécessite de diminuer drastiquement nos émissions de gaz à effet de serre — plus des deux tiers par rapport à leur niveau actuel. Et cette baisse doit, compte tenu de l'inertie des phénomènes en jeu, s'engager dès maintenant.

L'effort exigé ne peut pas être le même pour tous. Les pays ayant contribué et contribuant le plus aux émissions sont aussi ceux qui doivent envisager les réductions les plus conséquentes. Les objectifs de maîtrise des émissions de chaque pays doivent plus globalement converger vers un niveau équitable, rapporté à leur population, ce qui implique une baisse forte pour les pays les plus développés. Même si son niveau d'émissions reste comparablement inférieur à celui d'autres pays très industrialisés, cela se traduit par exemple pour la France par un objectif « facteur 4 » à 2050 (F4*), c'est-à-dire une réduction de 75 % de l'ensemble de ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à leur niveau de 1990.

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, la priorité réside dans la diminution du recours aux énergies fossiles, qui représentent aujourd'hui plus de 80 % de la fourniture d'énergie dans le monde et dont la combustion émet massivement du dioxyde de carbone (CO_2), principal gaz responsable de l'effet de serre. Cette diminution s'appuie sur deux leviers : la réduction des consommations nécessaires à la satisfaction des besoins par les économies d'énergie, et le remplacement des énergies fossiles par des énergies non carbonées. Pour ce second volet, l'importance du développement des énergies renouvelables est unanimement reconnue, mais des divergences existent sur l'estimation de leur capacité à répondre à ce défi à un coût supportable. Parallèlement, un débat plus vif encore existe sur le recours dans la lutte contre le changement climatique à l'énergie nucléaire, controversé notamment au vu des risques qui lui sont propres.

Quels risques met-on exactement dans la balance aujourd'hui face au changement climatique lorsqu'on promeut le nucléaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ? Sont-ils de mieux en mieux maîtrisés ou de plus en plus aigus ? À travers un état des lieux des risques spécifiques associés au nucléaire, la **partie 1** permet de mieux mesurer ce que ce choix implique.

L'idée de s'appuyer sur le nucléaire suppose également que celui-ci est efficace pour réduire les émissions. Mais comment une telle réduction s'opère-t-elle ? L'efficience du nucléaire est-elle si grande qu'elle en fasse une option prioritaire ? La **partie 2** explique comment comptabiliser les émissions « évitées » par le nucléaire et quelles limites pratiques peut trouver cette logique de substitution.



Dès lors qu'il contribue, quelque soit son niveau, à la baisse des émissions, le nucléaire ne doit-il pas faire dans tous les cas partie du bouquet de solutions ? La politique la plus efficace n'est pas nécessairement l'empilement de toutes les options mais leur bonne articulation. La **partie 3** discute la priorité qui peut s'établir, sur des critères de coût, de performance et de cohérence globale, entre le nucléaire et les autres options.

Ainsi, sans minimiser la question des risques, qui bute irréductiblement sur une dimension éthique, ce débat doit aussi être capable d'aborder la question sous l'angle concret de l'efficacité éventuelle de l'option nucléaire par rapport aux autres solutions disponibles, et de sa cohérence dans une action d'ensemble à la hauteur des réductions nécessaires. Même si chaque lecteur portera une attention différente à ces trois dimensions, il semble qu'une réponse globale ne peut faire l'économie de ces trois sujets. La mise en balance des risques, l'efficacité concrète du nucléaire et sa cohérence avec d'autres options sont traitées ici comme trois parties distinctes, que chacun pourra aborder dans l'ordre de son choix pour construire sa propre réponse.

Partie 1

Des risques indissociables du recours au nucléaire

La nature des risques associés à l'usage de l'énergie nucléaire en fait, que l'on considère ces risques maîtrisables ou inacceptables, une énergie très singulière. Dans le débat sur le recours au nucléaire pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la question de la mise en balance de ces risques spécifiques et du risque climatique est incontournable. Indépendamment de réflexions menées sur la capacité du nucléaire à contribuer à cette réduction de façon efficace et cohérente, respectivement proposées dans la **partie 2** *et dans la* **partie 3***, il s'agit ici de faire un point sur ce que sont ces risques spécifiques et sur la manière dont ils s'appréhendent aujourd'hui.*

En synthèse…

Si on considère que l'énergie nucléaire peut jouer un rôle dans la nécessaire maîtrise des émissions de gaz à effet de serre, alors un problème de mise en balance des risques se pose. Les risques spécifiques générés par le recours au nucléaire peuvent-ils être considérés comme négligeables, acceptables, ou suffisamment maîtrisables en regard d'une réduction attendue du risque climatique ? Ou bien sont-ils au contraire intrinsèquement inacceptables, ou tout simplement trop élevés pour justifier l'emploi du nucléaire par rapport à d'autres options disponibles pour lutter contre l'effet de serre ?

Si le recours à l'énergie nucléaire amène avec lui des risques qui lui sont propres, la portée de chacun de ces risques est controversée. Outre que leur quantification est difficile, leur degré de gravité ou la capacité de l'industrie à les maîtriser font l'objet d'appréciations très divergentes. Cependant, ces risques existent et leur nature spécifique est reconnue.

Des risques spécifiques

Les risques spécifiques au nucléaire sont divers. Parmi ces risques, on trouve celui de la prolifération, dû à la proximité entre nucléaire civil et nucléaire militaire ; le risque d'accident nucléaire lié à l'impossibilité d'atteindre la certitude absolue d'avoir anticipé tous les scénarios de défaillances possibles ; et le problème des matières et déchets radioactifs qui s'accumulent sans solution. L'industrie nucléaire n'a, plus d'un demi siècle après le début du développement du nucléaire, toujours pas trouvé de parade fiable à chacun de ces risques.

L'accroissement du recours à l'énergie nucléaire, par exemple au titre de la lutte contre le changement climatique, viendrait renforcer les risques qui lui sont associés. En effet, une telle tendance conduirait à l'augmentation du nombre d'installations, et avec elle de la probabilité d'un accident nucléaire. La multiplication du nombre de pays ayant recours au nucléaire étendrait le champ des territoires et des populations les plus soumis au risque d'accident. L'augmentation des volumes de matières en circulation, à l'intérieur d'une nation ou entre pays, accroîtrait le risque de prolifération et amplifierait le problème de gestion des déchets radioactifs.

Conclusion

Il ne s'agit pas ici de prétendre objectiver un choix par la quantification relative des différents risques associés au nucléaire d'une part, et du risque climatique d'autre part. Tout d'abord, ces risques sont de nature beaucoup trop différentes – dans leur probabilité d'occurrence, leur étendue spatiale et temporelle, leur gravité – pour être mesurés sur une même échelle, renvoyant toute comparaison à une préférence relative pour différents types de risques qui est propre à chacun. De même, la confiance que l'on peut avoir ou non dans la capacité technique, réglementaire et institutionnelle à progresser dans la maîtrise de ces risques n'est pas objectivable.

En revanche, le constat que ces risques propres au nucléaire existent et que différents facteurs conduisent aujourd'hui à les renforcer peut être partagé, et conduire à s'interroger sur le bien--fondé d'un recours à cette énergie dans ce contexte. A minima, le principe de précaution devrait s'exercer dans ce domaine. Certains jugeront légitimement inacceptable de s'exposer à ces risques. D'autres accepteront plus ou moins volontiers de les mettre en balance avec le risque climatique. À condition de ne pas perdre de vue que cela reviendrait à accroître les risques liés au nucléaire, et donc d'apporter des réponses sur la manière de les maîtriser. Et sous réserve, bien sûr, de démontrer par ailleurs que cette option est efficace et cohérente dans une politique climatique ambitieuse.

1.1. La prolifération, menace occultée, majeure et persistante

Historiquement, le premier risque associé au nucléaire civil est celui de la prolifération, c'est-à-dire du détournement des matières qu'il utilise ou des technologies qu'il emploie à des fins militaires – avec des conséquences évidemment désastreuses.

La porosité entre usages civils et militaires

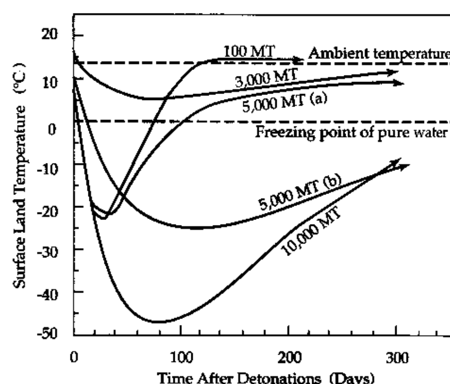
L'ère nucléaire a en effet commencé avec les bombes lâchées sur Hiroshima puis Nagasaki, les 6 et 9 août 1945. Les matières alors utilisées, uranium et plutonium, sont les mêmes que celles aujourd'hui employées par l'industrie nucléaire, civile ou militaire. De même, les technologies des installations nucléaires civiles actuelles (réacteurs, enrichissement, retraitement), ont historiquement été développées pour un usage militaire. Il n'y a pas de barrière technologique étanche entre nucléaire civil et nucléaire militaire.

Cette porosité a été récemment illustrée par le cas du nucléaire iranien. L'accord-cadre signé le 2 avril 2015, comprend la réduction du nombre de centrifugeuses iraniennes, qui peuvent servir aussi bien à enrichir faiblement de grandes quantités d'uranium pour le combustible des réacteurs, ou à enrichir fortement les quantités plus faibles suffisantes pour des bombes. L'Inde avait été le premier pays à contourner le cadre international en utilisant dès 1974 du plutonium issu de sa coopération civile avec les États-Unis[1]. Entre les deux, le Pakistan, l'Afrique du Sud (qui y a renoncé ensuite), Israël (qui ni ne le confirme ni ne l'infirme officiellement) et la Corée du Nord ont rejoint la liste des pays détenteurs d'armes nucléaires.

Les traités internationaux (TNP*, START*) et les garanties qu'ils imposent ont donc échoué à empêcher cette prolifération. La croissance régulière des stocks et des transports de matières fissiles[2] accroît ce risque pour la sécurité internationale. La perspective de nouveaux réacteurs, notamment dans des pays nouveaux au Moyen-Orient, en Afrique ou en Asie ne ferait qu'augmenter cette pression.

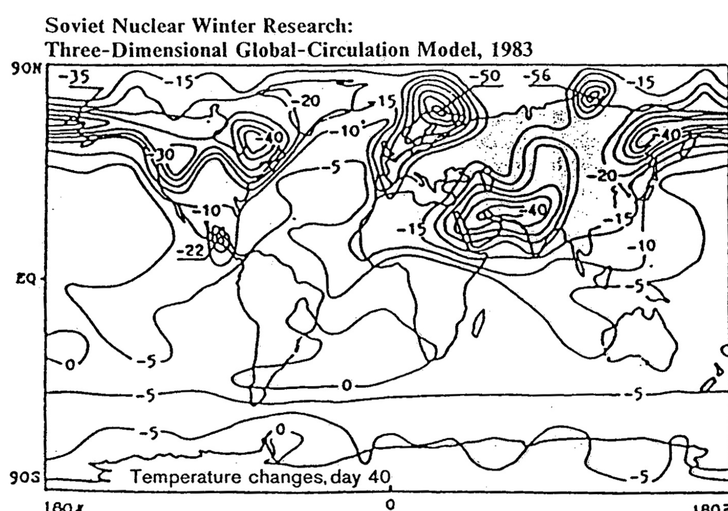
L'hiver nucléaire, première menace globale de l'histoire

Perte de température selon les détonations



Source : Recherche soviétique déclassifiée, 1984

Baisse des températures à la surface après les détonations (en °C)



Source : Recherche soviétique déclassifiée, 1984

Or l'arsenal nucléaire mondial, aujourd'hui estimé à 15 700 têtes environ[3], porte en lui le potentiel d'un autre changement climatique, extrêmement brutal.

Selon les études menées dès les années soixante par les scientifiques américains et soviétiques, un conflit nucléaire généralisé – un scénario qui malgré la fin de la Guerre froide reste malheureusement plausible – entraînerait jusqu'à 95 % de perte de luminosité, et abaisserait la température moyenne à la surface du globe jusqu'à -40°C, le retour à la normale pouvant prendre des mois. On tend à l'oublier, mais le scénario de quasi-extinction de l'humanité et de très nombreuses espèces associé à cet « hiver nucléaire » a marqué l'entrée dans une ère où l'homme est capable de sa propre destruction. Même un scénario de conflit nucléaire régionalisé, semblant plus probable aujourd'hui, pourrait conduire à des conséquences climatiques dramatiques[4].

---

[1] Même lorsque le plutonium civil n'est pas de la qualité recherchée par les militaires, l'AIEA* considère très clairement qu'il est utilisable pour fabriquer des bombes à partir d'une quantité minimale de 8 kg seulement.

[2] Selon l'inventaire régulièrement publié par l'IPFM*, début 2013, les stocks étaient estimés à 1 390 tonnes d'uranium hautement enrichi, 234 tonnes de plutonium militaire et 260 tonnes de plutonium civil séparé.

[3] Selon la FAS*, plus de 10 000 têtes restent en service, plus 5 500 têtes en attente de démantèlement en Russie et aux États-Unis.

[4] L'INESAP* estime par exemple qu'un conflit engageant 0,3 % de l'arsenal mondial suffirait à produire un refroidissement très significatif.

1.2. Un risque réévalué et croissant d'accident nucléaire

Les installations nucléaires, qu'il s'agisse des réacteurs ou des entreposages des matières les plus radioactives, représentent un potentiel de danger parmi les plus élevés de toutes les infrastructures technologiques. La contamination engendrée par la radioactivité relâchée en cas d'accident en fait un risque très spécifique.

De la théorie à la réalité

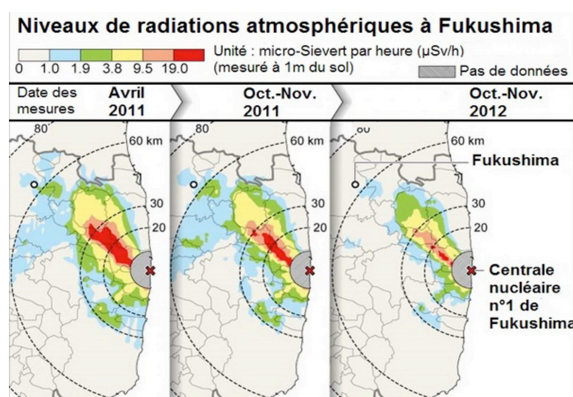
L'accident de Three Mile Island aux États-Unis a été le premier, en 1979, à démontrer qu'un accident de fusion du cœur était possible. Les catastrophes de Tchernobyl en Ukraine en 1986, puis de Fukushima-Daiichi au Japon en 2011 ont démontré qu'un tel scénario pouvait conduire à un accident majeur. Leur fréquence s'avère ainsi au moins 130 fois plus élevée que celle théoriquement visée par les démonstrations de sûreté[5].

Les principes fondamentaux de la sûreté des installations nucléaires, tels que l'approche probabiliste et la redondance des dispositifs de protection, sont remis en cause par ce retour d'expérience. Ce constat conduit l'ASN* en France à ne plus considérer l'accident comme « improbable » mais comme « possible », et à demander en conséquence d'importants renforcements des installations existantes.

Des conséquences désastreuses

Les victimes d'un accident nucléaire peuvent être très nombreuses : travailleurs du nucléaire exposés aux radiations, populations exposées, populations déplacées par centaines de milliers, voire la descendance des personnes exposées.

La contamination à des niveaux justifiant des mesures d'évacuation ou de protection peut s'étendre à des centaines de kilomètres – une ampleur largement supérieure à celle des plans d'urgence actuellement en place, et à laquelle il semble difficile de se préparer. Cette contamination persiste des centaines d'années.



Source : d'après Ministère des Sciences du Japon, 2013

Au delà des conséquences directes, l'impact économique d'un accident majeur, tel qu'il est constaté après les deux catastrophes précitées ou estimé pour un événement de même nature en France, se compte en centaines de milliards d'euros[6]. Pourtant, la responsabilité des exploitants nucléaires est limitée à 700 millions d'euros.

Des menaces croissante

Plusieurs facteurs conduisent aujourd'hui à une augmentation du risque d'accident grave. En premier lieu, non sans une certaine ironie, l'évolution climatique génère des agressions naturelles plus fréquentes et plus fortes (canicule ou grand froid, tornade, inondation…) contre lesquelles les installations nucléaires ne sont pas toujours bien dimensionnées. Dans ce domaine des agressions, le risque principal vient cependant sans doute d'une vulnérabilité croissante des installations aux nouvelles menaces terroristes – s'appuyant sur des technologies innovantes et accessibles telles que les drones, les virus informatiques, etc. –, dans un contexte géopolitique par ailleurs de plus en plus tendu.

Ensuite, les installations nucléaires existantes vieillissent. Des renforcements de leur sûreté sont envisageables, mais ils ne peuvent compenser totalement l'obsolescence et l'usure des équipements, surtout si l'on intègre les facteurs économiques (impératif de rentabilité) et sociaux (perte de compétence ou d'expérience avec le renouvellement des personnels). De plus, la communauté internationale se refuse à imposer la mise à niveau systématique des réacteurs existants par rapport aux enseignements de Fukushima[7].

Enfin, les nouveaux réacteurs marquent un progrès en termes de sûreté, mais ils n'apportent pas non plus de garantie absolue. De plus, leur puissance accrue augmente leur potentiel de danger et leur complexité rend leur construction difficile et leur coût exhorbitant. Par ailleurs, la multiplication des réacteurs, surtout si elle devait s'étendre à des pays ne disposant pas des capacités suffisantes pour en contrôler la sûreté, des usines nécessaires à leur fonctionnement et des transports associés irait également dans le sens d'une augmentation des risques.

---

5 On compte ainsi deux accidents majeurs (et même quatre si l'on considère que trois réacteurs ont été détruits au Japon) pour un total de 15 000 années de fonctionnement de réacteurs cumulées dans le monde. Le risque théorique visé par les dispositions de sûreté est par comparaison de l'ordre de un pour un million par année de fonctionnement de réacteur.

6 L'IRSN* a publié en 2013 une étude donnant une fourchette de 200 à 1 000 milliards d'euros pour le coût total d'un accident entraînant d'importants rejets radioactifs survenant sur le territoire français.

7 C'est le sens de la décision prise en mars 2015 par la Convention internationale sur la sûreté nucléaire, placée sous l'égide de l'AIEA.

1.3. L'accumulation des déchets, matières et sites

L'exploitation de l'énergie nucléaire génère des déchets, ainsi que des rejets dans l'environnement à toutes les étapes de la chaîne de production. Les installations utilisées sont contaminées par les matières qu'elles reçoivent, et nécessiteront des opérations et un suivi particuliers après leur fermeture.

Une ressource épuisable et polluante

A la différence des énergies renouvelables, l'exploitation de l'énergie nucléaire est basée sur une ressource finie. L'extraction du minerai est source de pollution autour des sites miniers, et a laissé en France des volumes considérables de matières faiblement radioactives (résidus de traitement et stériles miniers), laissés sur place sans confinement ni engagement de suivi à long terme. En Australie, au Canada ou au Niger, les mines d'uranium posent les mêmes problèmes, souvent contre la volonté des populations autochtones.

Après l'enrichissement, l'uranium appauvri est entreposé sans être considéré comme déchet malgré l'absence de perspective réelle de réutilisation. Avec une croissance de 50 000 tonnes par an environ, le stock mondial avait atteint 1,5 millions de tonnes en 2013[8]. À l'autre bout de la chaîne, les volumes de combustible usé atteignent aujourd'hui les 300 000 tonnes. Une partie des combustibles a fait l'objet, comme en France à l'usine de La Hague, d'un processus de retraitement, qui sépare le plutonium et l'uranium des autres matières, dont l'essentiel est alors conditionné sous forme de déchets vitrifiés hautement actifs.

En fonctionnement normal, des rejets radioactifs et chimiques, liquides et gazeux, sont autorisés aux différentes étapes de cette chaîne. Ils sont particulièrement importants – jusqu'à mille fois plus que dans un réacteur – dans le cas du retraitement des combustibles usés.

Les centrales nucléaires se caractérisent également par d'importants prélèvements en eau : le parc d'EDF* représente près de 60 % de l'ensemble des prélèvements effectués en France. Ils sont pour l'essentiel rejetés mais sont alors plus chauds – un phénomène particulièrement préoccupant pour les milieux aquatiques dans les rivières concernées lorsque des épisodes de sécheresse réduisent l'effet de dilution.

Des déchets sans solution

Si les déchets dits faiblement radioactifs font dans certains pays l'objet d'un stockage plus ou moins sûr, aucune solution définitive n'est mise en œuvre à ce jour dans le monde pour le combustible usé ou pour les déchets à vie longue, qui nécessitent une gestion sur plus de 100 000 ans. Aujourd'hui, les compagnies comme EDF et Areva en France ne sont censées provisionner, au mieux, que quelques siècles de gestion des déchets. La charge financière associée au devenir des déchets au-delà n'est actuellement portée par personne.

Le choix du retraitement des combustibles usés fait par la France la mène dans une impasse : l'uranium retraité s'entasse sans perspective d'utilisation, les stocks de plutonium augmentent, le temps nécessaire au refroidissement des assemblages MOX* usé est supérieur à celui nécessaire pour les assemblages classiques, augmentant les besoins de capacités d'entreposage, et aucune solution n'est mise en œuvre pour le stockage définitif des déchets vitrifiés.

En attendant, les matières les plus dangereuses sont entreposées : assemblages combustibles usés et déchets de moyenne et haute activité à vie longue. La France envisage de stocker ces déchets à grande profondeur : le projet, Cigéo, devrait coûter plusieurs dizaines de milliards d'euros. Les tentatives de stockage définitifs aux États-Unis et en Allemagne ont rencontré de graves difficultés : du plutonium a été relâché au WIPP* et les colis de déchet d'Asse[9] sont corrodés et doivent être remontés, mais la radioactivité ambiante rend les opérations nécessaires compliquées, voire impossibles.

Les défis du démantèlement

De nombreuses installations devront être arrêtées et démantelées dans les années à venir. Ces opérations concerneront des réacteurs, mais aussi une grande diversité d'installations de la chaîne du combustible, rendant inopérant l'effet d'échelle pour un grand nombre d'installations uniques. Les industriels devront relever des défis importants, techniques concernant les parties les plus radioactives, mais aussi financiers. Enfin, ces démantèlements amèneront des volumes de déchets considérables, et de nature diverses, qu'il faudra stocker selon des normes strictes.

---

[8] Selon les estimations de l'association de l'industrie nucléaire, WNA*.
[9] Ancienne mine de sel en Allemagne qui a servi au dépôt de déchets de faible et moyenne activité.

Partie 2

Une efficacité limitée sur la baisse des émissions

Le nucléaire est volontiers qualifié par ses promoteurs d'énergie « décarbonée » pour justifier son développement dans le cadre d'une stratégie de lutte contre le changement climatique. Face aux risques que présenterait une telle stratégie, il convient d'évaluer les bénéfices qui pourraient en être attendus en terme de baisse des émissions de gaz à effet de serre. En mettant de côté les risques attachés à l'utilisation de cette énergie, présentés par ailleurs dans la **partie 1***, il s'agit ici d'examiner l'efficacité réelle du nucléaire à éviter des émissions de* CO_2*, sans entrer dans la discussion de sa cohérence dans une stratégie énergétique, exposée dans la* **partie 3***.*

En synthèse…

Si on considère que les risques spécifiques au nucléaire pourraient être acceptables à condition que le recours à cette énergie permette de lutter contre le changement climatique, la question qui se pose alors est celle de l'efficacité réelle du nucléaire à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Pour répondre à cette interrogation, il faut d'abord pouvoir évaluer les émissions évitées, et apprécier la quantité évitée au regard des quantités émises et de leur évolution.

Efficacité pour « éviter » des émissions

L'évaluation des émissions « évitées » par le nucléaire dépend de deux facteurs :

- les émissions du nucléaire, qui ne sont pas négligeables dès lors que l'on tient compte de l'ensemble de son « cycle de vie », même si elles restent inférieures à celles de fossiles ;
- les émissions des moyens de productions que le nucléaire remplace, qui dépendent du « mix » électrique dans lequel le nucléaire s'insère.

Le gain apporté par la substitution du nucléaire à d'autres productions diminue à mesure que le « mix » électrique hors nucléaire est lui-même de plus en plus « décarboné », sous l'effet de centrales thermiques de plus en plus performantes, et de la montée des énergies renouvelables. Il faut de plus intégrer le rôle de l'efficacité énergétique, qui permet d'effacer une partie du besoin de production, donc de substitution.

Par ailleurs, les capacités de substitution du nucléaire ne concernent que le champ de la production d'électricité, qui est limité par rapport à l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre : la France, avec 80 % de nucléaire dans sa production d'électricité et des émissions totales de gaz à effet de serre qui restent pratiquement 4 fois trop élevées par rapport à un objectif soutenable, illustre ce phénomène.

Au niveau mondial, si on évalue de manière juste les émissions « évitées », le nucléaire ne joue qu'un rôle marginal et déclinant sur les émissions évitées de gaz à effet de serre.

Conclusion

Le nucléaire agit sur les émissions de gaz à effet de serre par un mécanisme de substitution, lorsqu'il remplace des productions d'énergie qui s'appuieraient sur des moyens plus émetteurs de CO_2. L'efficacité de cette substitution dépend inversement du volontarisme sur d'autres leviers d'action, tels que la maîtrise de la consommation et les énergies renouvelables : plus ceux-ci sont développés, et moins le nucléaire est en position de remplacer des solutions polluantes. Son efficacité est de plus limitée par le champ possible de cette substitution, rendant le recours à d'autres leviers indispensable : le nucléaire ne peut remplacer en l'état actuel que d'autres formes de production d'électricité.

La question n'est donc pas de savoir si le nucléaire peut permettre de lutter efficacement contre le changement climatique, mais de savoir s'il a sa place dans une stratégie combinée avec l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables. Outre la maîtrise de ses risques spécifiques, ceci pose des questions sur la cohérence systémique du déploiement de ces différentes options.

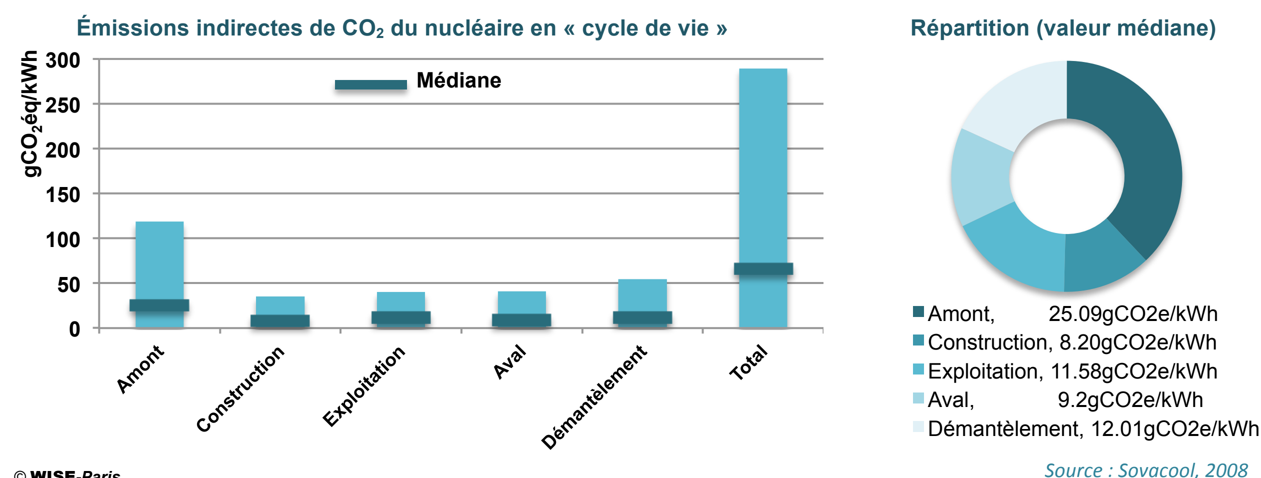
2.1. Des émissions de CO_2 indirectes mais pas nulles

Sans émettre directement de CO_2. – et parfois qualifié à ce titre d'énergie « décarbonée » – le nucléaire émet toutefois des gaz à effet de serre lorsque l'on regarde son cycle de vie complet. Ces émissions indirectes ne sont pas négligeables mais restent sensiblement inférieures aux émissions directes des énergies fossiles.

Les émissions du nucléaire en « cycle de vie »

La mesure des émissions de gaz à effet de serre que le nucléaire peut permettre d'éviter passe d'abord par l'évaluation des émissions qu'il génère. La réaction de fission nucléaire, contrairement à la combustion des énergies fossiles, n'émet directement ni CO_2 ni autre gaz à effet de serre (GES*).

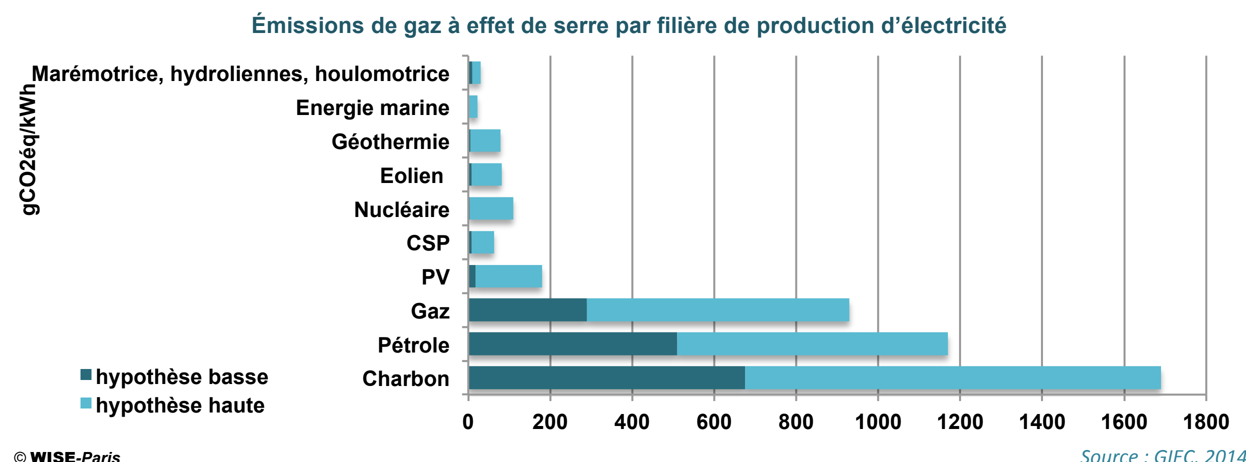
En revanche, la fabrication du combustible, de l'extraction de l'uranium à la réalisation des assemblages, la construction des réacteurs, l'exploitation, la gestion des déchets et le démantèlement sont chacun générateurs d'émissions de GES. Dans une étude réalisée en 2008, B. Sovacool a analysé 103 études portant sur les émissions de GES du « cycle de vie » du nucléaire. Les évaluations s'étendent de 1,4 à 288 gCO_2éq/kWh, avec une valeur médiane de 66 gCO_2éq/kWh, valeur retenue dans la suite de cette note. Le secteur le plus émetteur, mais aussi le plus incertain, est celui de l'amont du cycle. Les résultats dépendent fortement de hypothèses retenues sur cycle de vie : la durée de vie des centrales, le coefficient de production, le niveau de sûreté des installations…



Source : Sovacool, 2008

La comparaison des émissions par filière de production

Les émissions de GES des différentes filières de production connaissent toutes d'importantes incertitudes. Le 5ème rapport du GIEC donne pour chacune des principales énergies considérées des valeurs de référence (avec une fourchette haute et basse)[10]. Les émissions des énergies fossiles, principalement directes, restent significativement supérieures aux émissions indirectes des énergies renouvelables et du nucléaire, mais celles-ci ne sont pas nulles pour autant.



Source : GIEC, 2014

[10] Les valeurs retenues dans la suite de cette partie sont de 1 000 gCO_2éq/kWh pour le charbon, 800 gCO_2éq/kWh pour le pétrole, 600 gCO_2éq/kWh pour le gaz, 6 gCO_2éq/kWh pour l'hydraulique, 140 gCO_2éq/kWh pour l'hydraulique avec pompage, 60 gCO_2éq/kWh pour la géothermie, 100 gCO_2éq/kWh pour le solaire, et 14 gCO_2éq/kWh pour l'éolien.

2.2. Des émissions évitées dépendantes du « mix »

Si le recours au nucléaire évite des émissions en remplaçant d'autres productions, ce gain dépend fortement de ce qu'il remplace réellement. Les progrès des énergies renouvelables et le rôle de l'efficacité énergétique pour maîtriser les besoins de production réduisent progressivement l'impact de ce remplacement.

Les émissions substituées par le nucléaire en fonction du « mix »

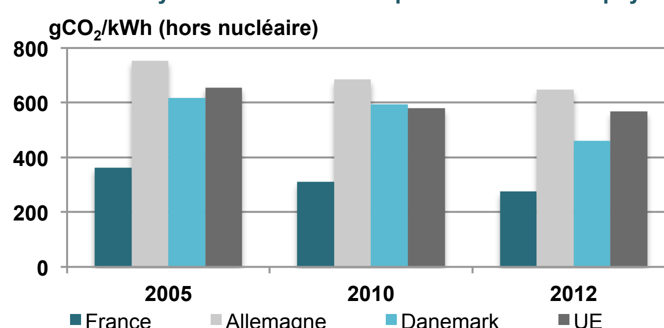
Pour mesurer les émissions de gaz à effet de serre « évitées » par le nucléaire, il importe de comparer les émissions indirectes de cette filière à celles qui seraient émises si la production nucléaire devait être couverte par d'autres moyens. Cette comparaison est tout sauf facile. Le gain n'est pas le même selon qu'il remplaceune production fossile fortement émettrice ou une production renouvelable faiblement émettrice - sans parler du cas où l'action sur la consommation permet, tout simplement, de se passer de ladite production.

Les émissions substituées par le nucléaire (c'est-à-dire le CO_2 non émis grâce au remplacement d'autres productions par du nucléaire) dépendent ainsi des émissions du mix électrique qu'il remplace, et donc de sa composition. Ce « mix » électrique est plus ou moins carboné selon le pays concerné, et il évolue en fonction des priorités énergétiques propres à chaque pays.

La comparaison du contenu moyen en CO_2 du kWh électrique (hors production nucléaire lorsqu'elle existe, et sur la base des valeurs issues des données du GIEC) en France avec d'autres pays et avec l'ensemble de l'Union européenne illustre les différences importantes d'un pays à l'autre et d'une année à une autre.

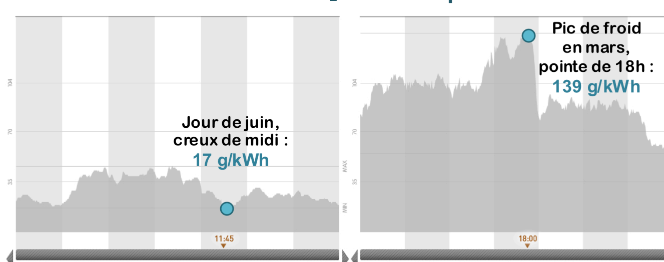
À l'intérieur même de ces moyennes annuelles, le contenu en CO_2 du mix électrique peut fortement varier suivant la période. En effet, les saisons peuvent avoir un impact à la fois sur la production des énergies renouvelables, et sur la consommation en influant sur les besoins d'éclairage, de chauffage et de climatisation. À titre d'exemple, les émissions directes en France un jour de juin en période creuse et un jour de mars au pic de consommation varient, selon les chiffres de RTE*, pratiquement du simple au décuple.

Contenu moyen du « mix » électrique dans différents pays



Source : d'après RTE, Commission Eur., 2014

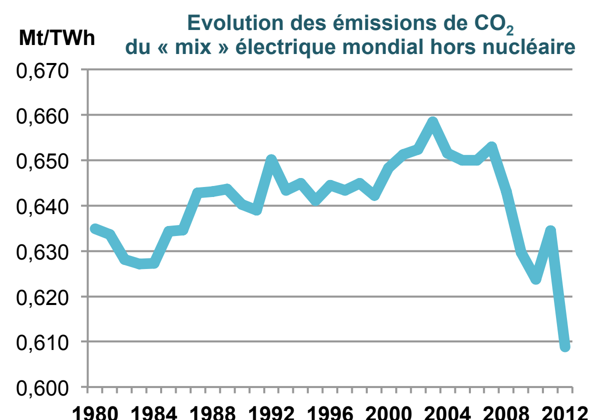
Évolution du contenu de CO_2 selon les périodes en France



Source : RTE, 2014-2015

L'impact déclinant de la substitution

À l'échelle la plus globale, l'influence du nucléaire sur les émissions dépend de la répartition des différentes sources de production dans l'électricité mondiale. Son évolution dicte celle du contenu moyen en CO_2 évité par le nucléaire. En appliquant les coefficients d'émissions issues des données du GIEC aux statistiques de production, on obtient la courbe du contenu moyen en CO_2 de la production électrique mondiale hors nucléaire.



Source : d'après TSP, AIE*, GIEC, 2015*

Ce contenu, globalement élevé dans un mix dominé par les centrales thermiques au charbon et au gaz, a régulièrement augmenté jusqu'à il y a une dizaine d'années. L'efficacité croissante des centrales thermiques, la progression de l'hydroélectricité et le développement à une échelle devenant significative des nouvelles énergies renouvelables ont vu le contenu moyen reculer d'environ 50 gCO_2/kWh en une dizaine d'années.

Ainsi, à mesure que le secteur électrique voit l'efficacité énergétique augmenter et les productions hors nucléaire devenir moins carbonées, le gain en émissions « évitées » associé à la production nucléaire diminue mécaniquement.

2.3. Une contribution historique marginale à la maîtrise des émissions

La contribution du nucléaire à la réduction des émissions de CO_2 est historiquement restée très faible, et n'a jamais permis, depuis son introduction, d'inverser la tendance à la forte hausse des émissions.

Le gonflement de son rôle par l'industrie nucléaire

Dans ses évaluations, l'industrie nucléaire surévalue systématiquement le rôle du nucléaire dans la lutte contre les émissions de GES en appliquant un double biais. Le premier est de comptabiliser des émissions nulles ou quasiment nulles pour le nucléaire lui-même. Le second consiste à considérer que le nucléaire vient exclusivement en remplacement de centrales thermiques fossiles (voire, dans certains cas, uniquement de centrales à charbon les plus polluantes), effaçant toute évolution du reste du « mix » électrique mondial. Le kWh que vient remplacer le nucléaire apparaît alors plus carboné qu'il ne l'est en réalité.

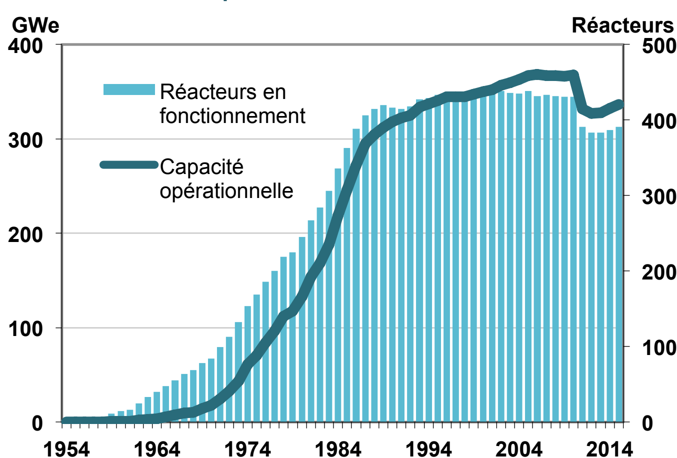
Avec cette méthode, l'AIEA* estimait par exemple en 2014 à 2,12 milliards de tonnes de CO_2 les émissions évitées par le nucléaire en 2011. Rapporté aux émissions de CO_2 dues à la combustion d'énergies fossiles, qui représentaient alors presque 32 milliards de tonnes, le nucléaire apporte, selon ce calcul, plus de 6 % de réduction des émissions. Ce chiffre, bien que faible, doit être réévalué plus réalistement.

Un rôle réalistement limité et marginal

On propose pour cela d'estimer plus justement le rôle du nucléaire. D'une part, on retient une valeur plus médiane de ses propres émissions indirectes. D'autre part, on applique pour estimer les émissions évitées par la production nucléaire le contenu moyen du mix électrique hors nucléaire, tel que calculé précédemment.

Il est par ailleurs intéressant d'observer non seulement l'impact actuel du nucléaire sur les émissions de gaz à effet de serre, mais également son influence dans la durée. Le parc nucléaire mondial a en effet connu un développement très rapide, à partir des années cinquante, avant de stagner depuis une trentaine d'années[11].

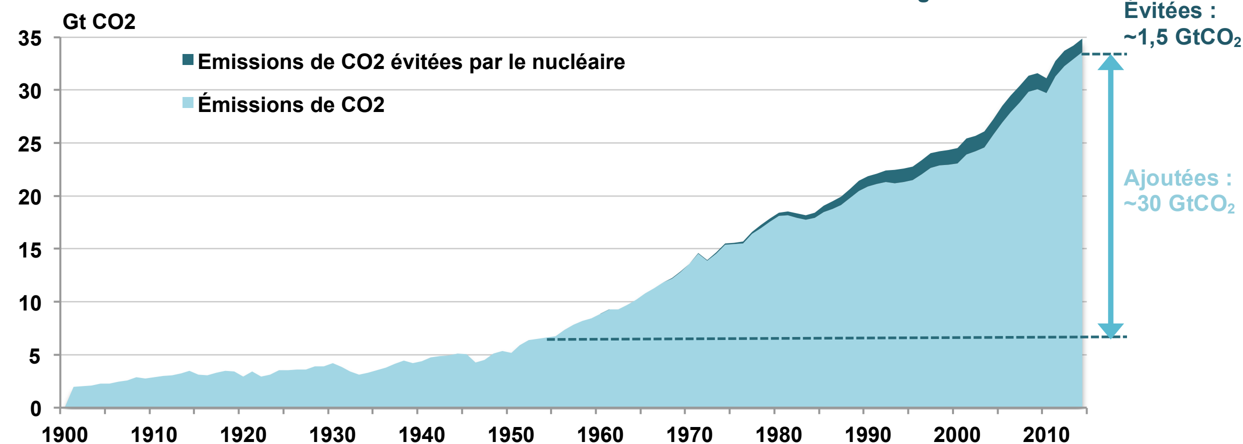
Évolution de la capacité nucléaire installée dans le monde



© WISE-Paris — Source : WNISR, 2015

Les émissions évitées par le nucléaire, ainsi calculées, atteignent aujourd'hui en réalité environ 1,5 milliard de tonnes, soit un peu moins de 4 % des émissions de CO_2. Toutefois, cela est 20 fois moins que les émissions ajoutées au bilan mondial depuis le démarrage des premiers réacteurs. Ainsi le nucléaire ne se pose pas en alternative au mode de développement responsable de la croissance des émissions. Il a tout au plus retardé de quelques années la croissance des émissions, mais n'en a jamais inversé la dynamique.

Évolution des émissions mondiales de CO_2 liées à l'énergie



© WISE-Paris — Source : d'après CAIT2, EDGAR, TSP, 2015

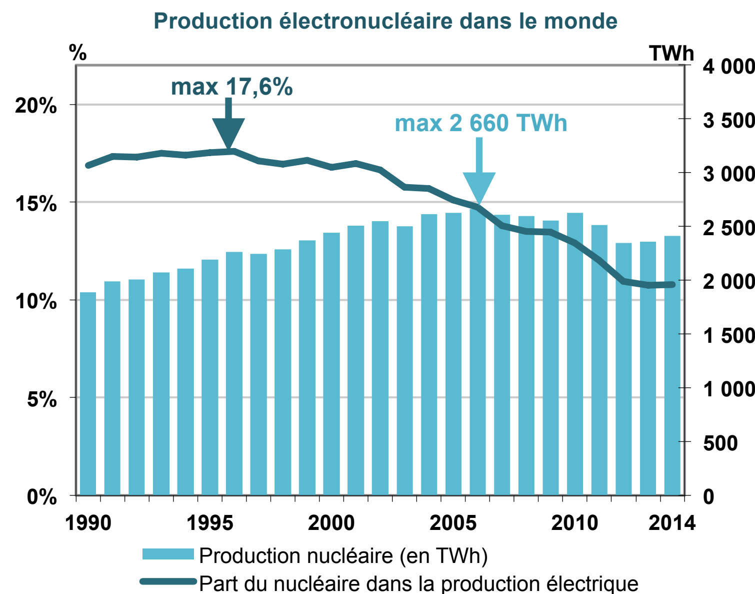
[11] Et même de décliner ces dernières années si l'on retire des statistiques officielles maintenues par l'AIEA les réacteurs placés en arrêt au Japon après Fukushima.

2.4. Un rôle énergétique et climatique en déclin

La contribution du nucléaire à la réduction des émissions devrait encore se réduire à l'avenir, son rôle dans le mix électrique mondial étant en déclin. Au vu de l'évolution à la hausse de la consommation d'énergie mondiale et de la progression par d'autres moyens de la décarbonisation du mix électrique, l'apport du nucléaire à la réduction des émissions connaît un net recul.

Le nucléaire, une énergie en perte de vitesse

Le nucléaire voit en effet aujourd'hui son importance décliner dans le « mix » électrique. En 2014, il ne représente plus que 10,8 % de l'électricité produite dans le monde. Ce recul en pourcentage est quasi constant depuis le pic de 17,6 % enregistré en 1996, il y a presque vingt ans. Ce déclin sanctionne non seulement un recul relatif vis-à-vis d'autres sources d'électricité qui connaissent une meilleure dynamique, mais même une baisse directe.



Ainsi, en valeur absolue, la production nucléaire mondiale a atteint son record en 2006. Elle a baissé de 9 % depuis, fournissant 2 410 TWh en 2014.

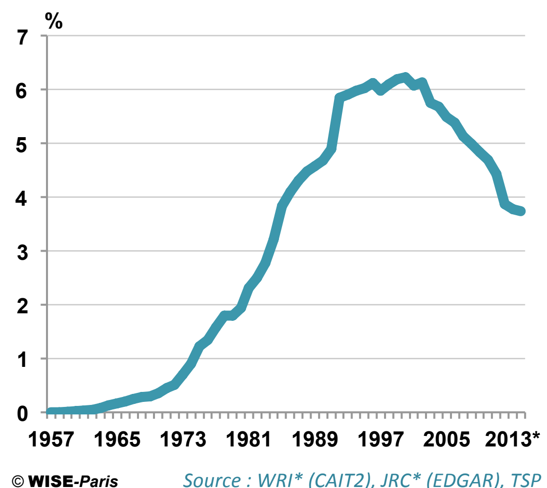
Sa part devrait encore décliner à l'avenir. En effet, la croissance globale de la production électrique devrait se poursuivre, alors que le maintien de la production nucléaire présente un énorme défi du fait d'un parc vieillissant. Les réacteurs en fonctionnement, généralement conçus pour 40 ans d'exploitation au maximum, atteignent 30 ans en moyenne. Nombre d'entre eux devraient donc fermer dans la décennie qui vient, sauf à engager d'importants travaux en vue de leur prolongation (une perspective par ailleurs techniquement incertaine et porteuse de risques)[12].

L'état actuel des constructions et des projets, et les difficultés rencontrées sur les chantiers en cours, ne devraient pas permettre de compenser ces fermetures, ne serait-ce que pour maintenir la capacité à son niveau actuel. Ainsi, la perspective probable à l'horizon des deux prochaines décennies, sans préjuger de la suite, est à une baisse de la capacité nucléaire installée dans le monde.

Le pic de la contribution du nucléaire

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, il est probable que la contribution du nucléaire à la réduction des émissions continue, sauf retournement de tendance, à décroître dans les prochaines années. Selon la méthode d'évaluation des émissions « évitées » présentée précédemment, cette contribution a en fait connu son apogée il y a une quinzaine d'années, avec un pic allant jusqu'à 6,2 % d'émissions « évitées » en 2000.

La contribution du nucléaire, selon la même mesure, est retombée depuis pratiquement au même rythme qu'elle avait augmenté tout au long du développement du parc nucléaire mondial. La stagnation du nucléaire, comparée à la dynamique observée sur les autres facteurs, a ramené la contribution du nucléaire à moins de 4 % de l'ensemble des émissions de CO_2 liées à l'énergie sur ces dernières années.



[12] Un rapport de WISE-Paris sur l'échéance des 40 ans du parc nucléaire français a notamment mis en évidence les enjeux de sûreté, les coûts importants et les difficultés industrielles à mettre en œuvre cette prolongation.

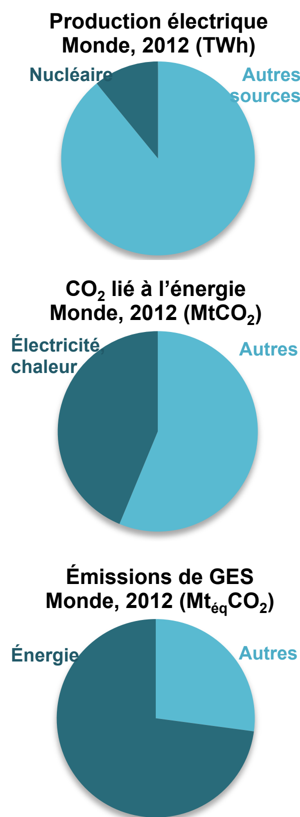
2.5. Un champ d'action restreint

Le nucléaire n'a d'impact que sur les émissions générées par le secteur électrique. L'exemple de la France montre qu'un mix électrique très majoritairement nucléaire ne suffit pas à respecter un niveau d'émissions totales compatibles avec les objectifs climatiques.

Le nucléaire dans le champ global des émissions

Dans l'état actuel de son déploiement, le nucléaire reste cantonné à la production électrique. Il ne peut donc en réalité avoir un impact que sur les émissions de GES du secteur électrique, ce qui limite son levier d'action. Pour augmenter son action, il faudrait donc étendre sa contribution à l'ensemble de la production d'électricité. Avec un niveau de 10 %, la marge de progression est théoriquement grande, mais cette augmentation représenterait un effort considérable pour un résultat réduit. Par ailleurs, les caractéristiques du nucléaire s'opposent à ce qu'ils fournisse une part trop importante de l'électricité[13].

De plus, même si elle représente un problème important lié à l'usage massif de centrales thermiques, l'électricité ne représente qu'une partie du CO_2 émis par la combustion des énergies fossiles – environ 30 %. Enfin, ce CO_2 lié à l'énergie ne représente lui-même que moins des deux tiers de l'ensemble des émissions mondiales de gaz à effet de serre, tous secteurs confondus (incluant par exemple les émissions de l'agriculture).

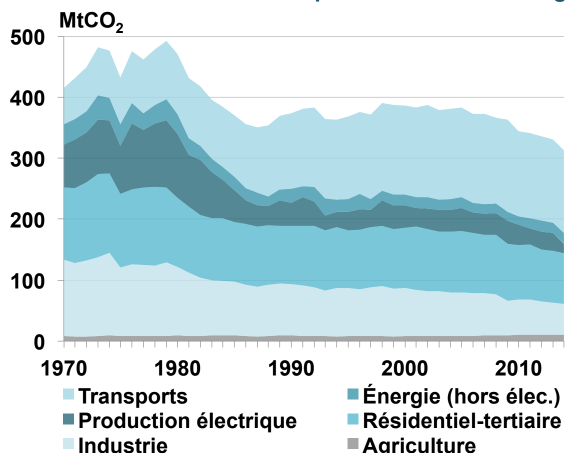


Source : AIE, CGDD*, GIEC, 2015

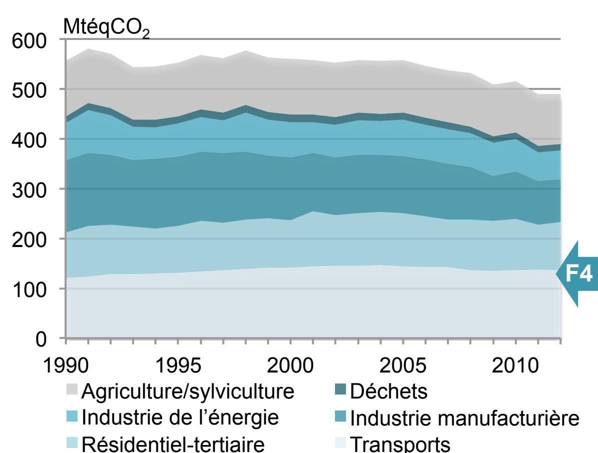
La France, illustration des limites de la substitution

Le cas de la France illustre cet effet de plafonnement. Entre le pic des années quatre-vingt et le plus bas historique, les émissions de CO_2 liées à l'énergie de la France ont baissé de 30 %. Cette baisse est due à la combinaison, suite aux chocs pétroliers, d'une réduction des consommations et du développement du parc nucléaire. L'atteinte de 75 à 80 % de nucléaire dans la production d'électricité, et le développement des usages de l'électricité (chauffage électrique, etc.) n'ont conduit qu'à 15 % environ de baisse de ces émissions. Cet impact, maximisé, reste donc très insuffisant par rapport à la baisse nécessaire.

Ainsi, malgré la part la plus importante de nucléaire dans son « mix » électrique au monde, la France reste à un niveau d'émissions totales de GES non soutenable. C'est le sens de son engagement au facteur 4 (F4), une division par quatre à l'horizon 2050 de ses émissions par rapport à leur niveau de 1990 pour les ramener à ce niveau soutenable à l'échelle mondiale. Et c'est naturellement par d'autres moyens que le recours au nucléaire, déjà porté à son maximum, que ce niveau de réduction pourra être atteint.



Source : CGDD, 2015



Source : CITEPA*, 2015

[13] On peut notamment citer la taille importante des installations nucléaires, par rapport à la capacité des réseaux électriques, ou le fonctionnement en base des réacteurs, par rapport à une demande électrique par nature variable.

Partie 3

Un frein aux solutions les plus performantes

Un système énergétique n'est pas une simple addition de divers moyens de production, mais une combinaison intelligente et cohérente de moyens de productions complémentaires. Pour mettre en place un système énergétique compatible avec une politique climatique ambitieuse, le seul critère des émissions de CO_2 d'une technologie ne suffit pas à trancher sur son intérêt dans le système : encore faut-il que cette technologie s'accorde avec les autres technologies mises en œuvre. A ce titre, la place éventuelle du nucléaire dans le mix électrique doit être questionnée au regard d'un mix s'orientant vers de plus en plus de renouvelables. Sans revenir sur les risques associés à l'énergie nucléaire traité dans la **partie 1** *et sur la faiblesse de la place qu'il a historiquement occupé dans la maîtrise des émissions de CO_2 traitée dans la* **partie 2***, il s'agit ici d'examiner la cohérence d'un mix énergétique mêlant le nucléaire à une forte proportion d'énergies renouvelables.*

En synthèse…

Le nucléaire, si ses risques parvenaient à être maîtrisés et si ses plus faibles émissions de carbone que les énergies fossiles lui permettent d'avoir une certaine efficacité, ne peut cependant pas suffire à lui seul à faire face au changement climatique et doit, s'il est employé, être combiné à d'autres options. Cela pose la question de son insertion cohérente dans l'évolution nécessaire du système énergétique, qui se décline en fait à deux niveaux :

- dans les nouveaux investissements, comment se compare le nucléaire par rapport aux autres options en termes d'efficacité dans la réduction nécessaire des émissions ?
- là où une production nucléaire existe ou est engagée, jusqu'où faut-il s'appuyer sur cette production et jusqu'où faut-il s'engager dans le développement d'autres options ?

Cohérence entre options et priorités d'action

L'idée que le nucléaire pourrait être la principale solution de lutte contre le changement climatique repose sur un changement d'échelle du parc nucléaire qui est, dans tous les cas, hors de portée dans des délais compatibles avec les objectifs de réduction des émissions. Ainsi le rôle du nucléaire, même dans les scénarios volontaristes, reste mineur par rapport au rôle à jouer par l'efficacité et les renouvelables.

Les coûts croissants du nouveau nucléaire rendent celui-ci de moins en moins compétitif vis-à-vis des renouvelables, et l'écart de rentabilité par émission évitée avec les renouvelables et l'efficacité énergétique se creuse. Pour les pays émergents comme la Chine, ou pour de nouveaux entrants dans le nucléaire, cette option est de moins en moins intéressante, surtout que ces derniers doivent surmonter d'importants obstacles.

À l'inverse, un nombre croissant de pays font la démonstration d'une évolution positive sans nucléaire, s'appuyant sur la maîtrise de la demande et sur un développement fort et maîtrisé des renouvelables, voire en sortant du nucléaire comme l'Allemagne. Le nucléaire existant, valorisé à court terme dans le bilan des émissions, apparaît en effet moins comme un atout que comme un frein à une politique climatique efficace à long terme, comme le montre le cas de la France.

Conclusion

Indépendamment des conditions posées à son développement, le nucléaire ne peut prétendre qu'à un rôle d'appoint dans les politiques climatiques, derrière les options incontournables que constituent en priorité la maîtrise de la consommation d'énergie, et dans un deuxième temps le développement des énergies renouvelables.

Les performances comparées, en termes de coût, d'émissions évitées et de délais de déploiement, ne permettent en aucun cas à des nouveaux projets de réacteurs nucléaires de rivaliser sur ce plan avec le potentiel d'actions d'efficacité énergétique ou d'installation de capacités de production renouvelables.

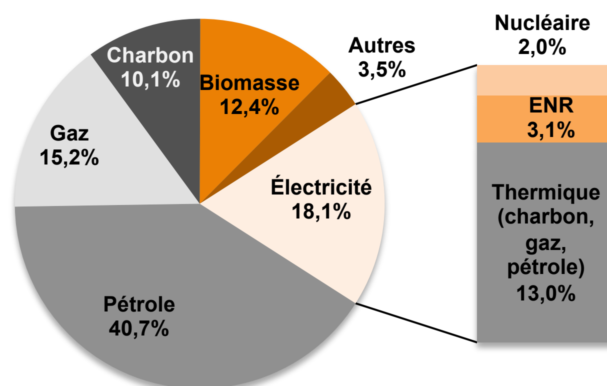
Même là où des réacteurs existent, et contrairement à une vision à court terme, leur maintien constitue en général un obstacle à la mise en œuvre rapide et efficace des options les plus performantes pour réduire les émissions, qui par ailleurs présentent moins de risques et offrent davantage de co-bénéfices (sécurité, emplois, indépendance énergétique).

3.1. Les limites au volontarisme

Pour être en capacité de jouer un rôle majeur dans une politique climatique ambitieuse, le nucléaire devrait changer d'échelle. Toutefois, même un rôle plus mineur nécessiterait un effort considérable de maintien en fonctionnement du parc actuel et de construction de nouveaux réacteurs à un rythme jamais atteint.

Un changement d'échelle impossible

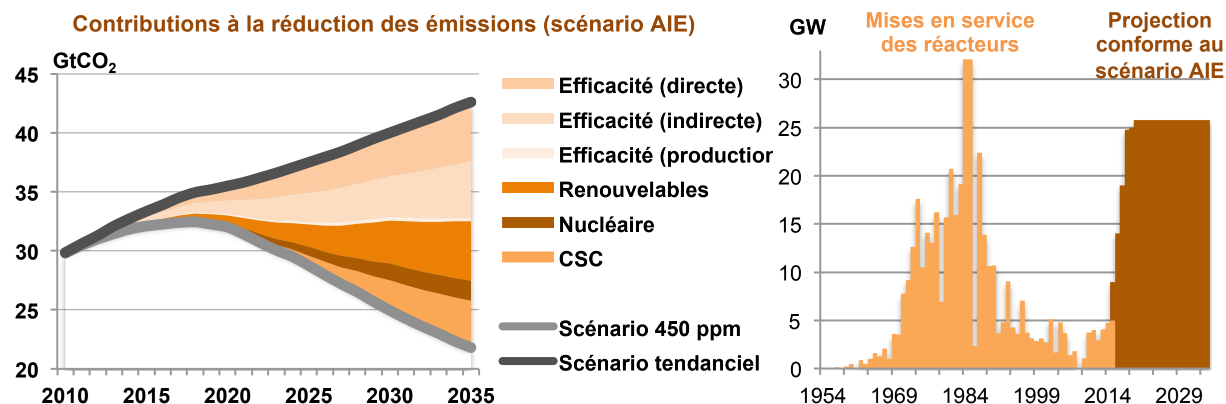
Un simple regard sur les ordres de grandeur permet de mesurer ce qui sépare le nucléaire à son niveau actuel d'un rôle de substitut majeur aux énergies fossiles. Facilement qualifié par ses promoteurs de « seule source massive de production peu carbonée », celui-ci reste en fait bien loin dans ce domaine derrière les énergies renouvelables : ils contribuent respectivement à 2 % et 17 % de la consommation d'énergie finale dans le monde. À consommation d'énergie constante, une multiplication par dix du parc nucléaire pourrait théoriquement fournir un peu moins d'un quart de l'énergie consommée dans le monde, et contribuerait pour moitié environ à l'effort nécessaire de réduction des émissions.



À l'horizon d'une vingtaine d'années où se joue la maîtrise des émissions, un tel niveau de développement du parc nucléaire est, qu'on le veuille ou non, absolument hors de portée. Aussi, le nucléaire n'est en mesure de jouer qu'un rôle mineur dans les scénarios de lutte contre le changement climatique.

Le plafonnement du nucléaire dans les scénarios

Parmi les nombreux exercices du même type, les scénarios produits par l'AIE* illustrent peut-être le mieux la contribution que pourrait atteindre le nucléaire dans une optique très volontariste. Ainsi par exemple, dans le scénario « 450 ppm » produit par l'AIE en 2010 pour ramener les concentrations de gaz à effet de serre au seuil d'un niveau soutenable[14], le nucléaire ne contribue qu'à hauteur de 7 % à la réduction des émissions de CO_2 liées à l'énergie à l'horizon 2020, et 9 % à 2030, par rapport à un scénario tendanciel. Il se situe très loin derrière la maîtrise de la consommation d'énergie (71 % à 2020, 49 % à 2030) et les énergies renouvelables (19 % à 2020, 24 % à 2030), qui apparaissent bien comme les priorités de court et de moyen terme.



Encore faut-il souligner que ce résultat suppose de mettre en service 500 GW de nucléaire en une vingtaine d'années, en plus des travaux de prolongation de l'exploitation des réacteurs existants. Le rythme correspondant est sans commune mesure avec les réalisations du passé et très supérieur aux efforts actuels (25 GW de nucléaire ont été mis en service entre 2010 et 2015, là où le scénario de l'AIE en projette 137 GW entre 2010 et 2020). En d'autres termes, même ce niveau mineur de contribution constituerait un défi majeur pour l'industrie.

[14] L'objectif de 450 ppm (ou parties par million, qui quantifie la concentration de CO_2 dans l'atmosphère) représente la valeur maximale de concentration admissible pour réduire les « chances » d'un changement climatique majeur et irréversible. Un objectif réellement soutenable serait le retour à une concentration de 350 ppm.

3.2. Une dynamique tournée vers d'autres options

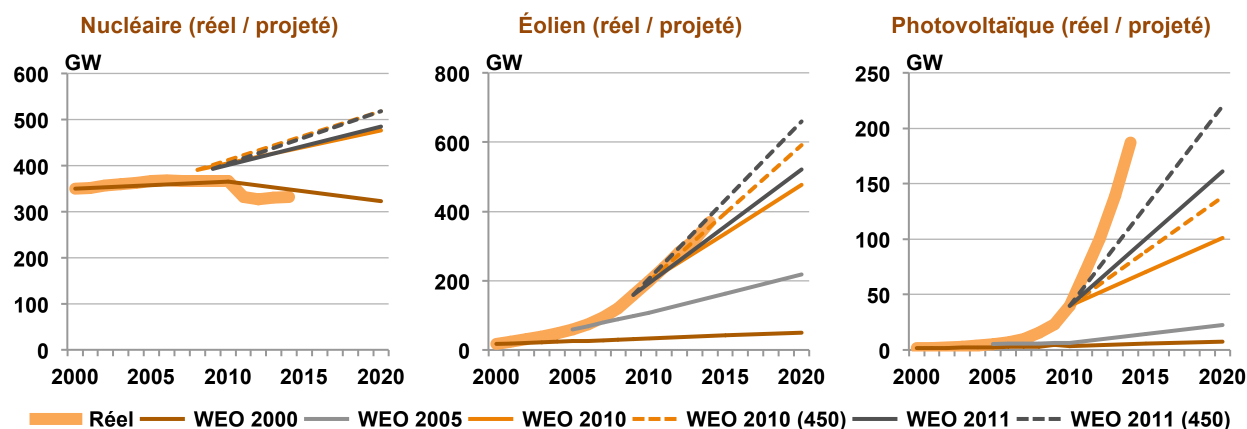
Le nucléaire ne peut prétendre à davantage qu'un rôle de complément dans la lutte contre le changement climatique. L'idée qu'il resterait malgré tout indispensable repose sur une confiance dans son potentiel totalement déconnectée de la réalité et sur une sous-estimation de la dynamique des énergies renouvelables.

Une confiance artificielle dans le nucléaire

L'examen réaliste des différentes options possibles, de leur potentiel d'action et de leur vitesse de déploiement montre que le rôle du nucléaire ne peut être que mineur par rapport aux priorités que constituent la maîtrise de l'énergie et les énergies renouvelables. Dès lors, la question n'est pas de poser le nucléaire comme alternative aux énergies fossiles, mais de s'interroger sur sa place éventuelle comme complément aux principales solutions.

La contribution additionnelle du nucléaire est-elle un complément indispensable à cette transition énergétique ? Après l'étude de nombreux scénarios, le GIEC a conclu au contraire que les autres options disponibles permettraient d'atteindre les réductions d'émissions nécessaires sans recourir au nucléaire[15]. Le postulat selon lequel il serait malgré tout plus facile d'atteindre ces objectifs en renforçant le nucléaire repose notamment sur une plus grande confiance dans cette option que dans le potentiel de développement des énergies renouvelables.

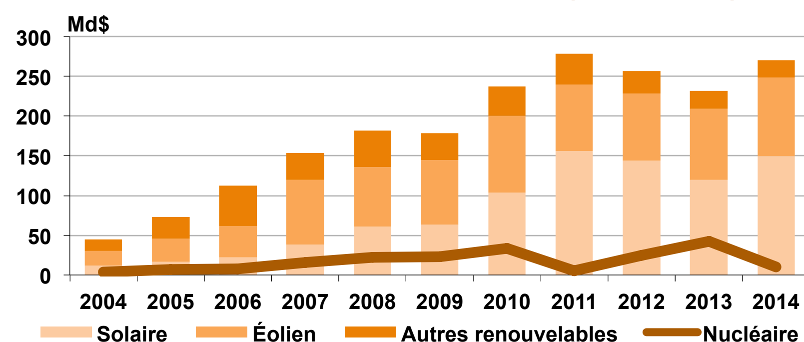
Les projections du *World Energy Outlook* (WEO) de l'AIE, comparées aux évolutions réellement constatées, illustrent cet excès de confiance dans le potentiel de croissance du nucléaire, et de défiance dans celui des renouvelables. Ainsi, ses scénarios volontaristes (450) sont exagérément optimistes par rapport à la tendance sur le nucléaire, tout juste dans cette tendance pour l'éolien, et très en dessous de la réalité pour le photovoltaïque !



Source : d'après AIE 2000-2011

Le boom des énergies renouvelables

Le poids accordé aux options de production électrique bas carbone dans les projections officielles ne reflète pas leur poids réel dans l'évolution actuelle du système. Au cours des dix dernières années, les investissements dans les nouvelles énergies renouvelables électriques ont été en moyenne, au niveau mondial, plus de dix fois supérieurs aux investissements dans la construction de réacteurs. En 2013 et 2014, les énergies renouvelables ont même représenté plus de la moitié des nouvelles capacités installées, toutes filières confondues.



Source : WNISR 2015, d'après Bloomberg New Energy Finance

Ce niveau d'investissement reflète une compétitivité croissante. Au total, les énergies renouvelables électriques, hydroélectricité incluse, représentent d'ores et déjà cinq fois plus de capacité installée que le nucléaire. En 2014, elles ont produit au total deux fois plus d'électricité que ce dernier. L'éolien, par exemple, a connu un taux de croissance moyen de 25 % par an entre 2000 et 2013.

[15] Le rapport du Groupe III du GIEC, publié en 2014, indique : « *l'exclusion de l'énergie nucléaire du portefeuille des technologies disponibles se traduirait seulement par une légère augmentation des coûts d'atténuation par rapport à la gamme complète des technologies disponibles* ».

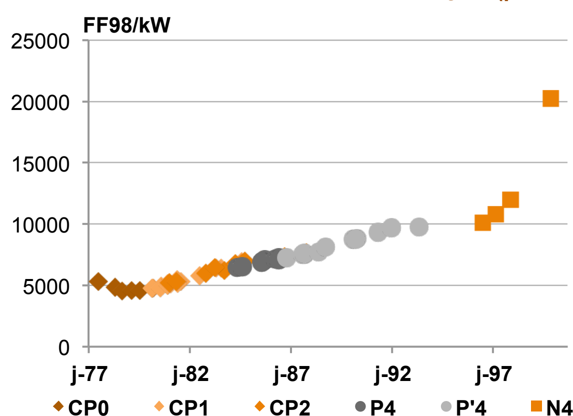
3.3. Le nucléaire, option non compétitive

Alors que le coût de production des énergies renouvelables diminue régulièrement, celui du nucléaire ne cesse d'augmenter, rendant cette technologie de moins en moins compétitive. Cette tendance fait durablement des nouveaux réacteurs une des options les plus onéreuses pour la réduction des émissions.

Un coût incomplet et croissant

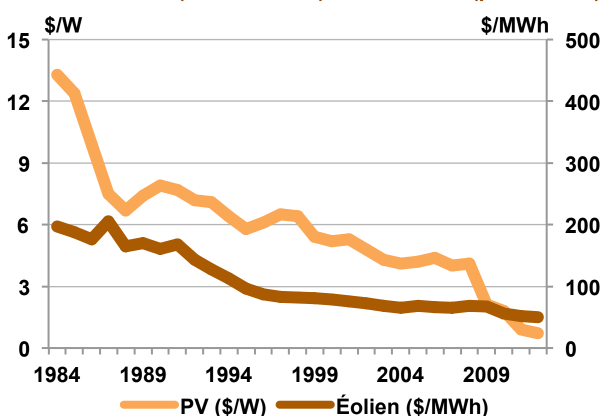
Même si le coût de production qu'ils affichent prête largement à discussion[16], les réacteurs existants sont relativement compétitif car leur investissement initial est largement amorti. Cette compétitivité s'érode cependant rapidement sous l'effet de deux facteurs. Le premier est l'augmentation de leur coût de production, du fait notamment des travaux dûs au vieillissement. Leur éventuelle prolongation d'exploitation pourrait conduire à des dépenses considérables – jusqu'à plusieurs milliards d'euros par réacteur – pour compenser ce vieillissement, mais aussi pour rapprocher le niveau de sûreté des installations proche des critères de sûreté actuels.

Coût de construction des réacteurs français (par unité)



© WISE-Paris *Source : IIASA*, 2007*

Coût du solaire (construction) et de l'éolien (production)



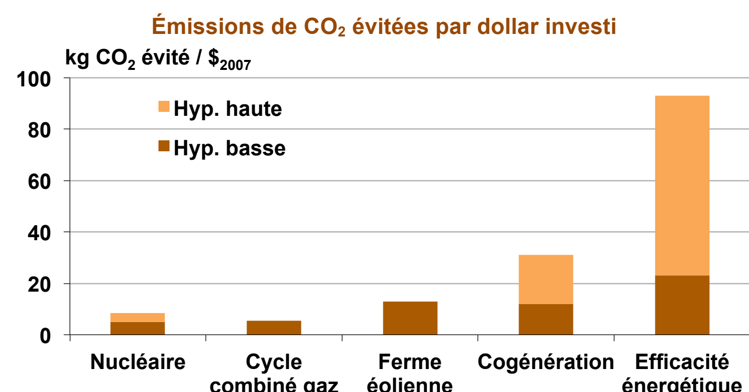
© WISE-Paris *Source : Bloomberg New Energy Finance, 2013*

Le second concerne les progrès constatés chez les énergies renouvelables. Leur dynamique actuelle va en effet de pair avec des baisses de coût importantes – une division par quatre pour l'éolien terrestre en vingt ans – qui les placent aujourd'hui en position très favorable par rapport à de nouveaux réacteurs. D'autant plus que le nucléaire connaît au contraire, comme l'illustre le cas pourtant favorable de la France, une courbe d'apprentissage négative. Ainsi le réacteur EPR*, dont le coût de construction s'envole, produirait l'électricité autour de 90 à 110 €/MWh[17], soit environ 30 % plus cher que l'éolien terrestre standard.

Les émissions évitées par euro investi

Dans la mesure où un euro ne peut être investi qu'une fois, les capacités limitées d'investissement rendent nécessaire de prioriser les options en fonction leur efficacité à réduire les émissions de GES.

Émissions de CO_2 évitées par dollar investi



© WISE-Paris *Source : d'après RMI*, 2010*

Dans ce domaine, le nucléaire se trouve loin derrière les autres options. C'est de très loin dans l'efficacité énergétique qu'un euro investi peut en moyenne « éviter » le plus de CO_2. Et pour la production d'électricité, un nouveau réacteur nucléaire génère au moins trois fois moins d'émissions évitées par euro investi que des éoliennes – sans compter qu'il produit cet effet beaucoup plus lentement, au vu des temps de construction respectifs de ces moyens de production.

[16] Les principaux sujets dans ce domaine concernent 1) les différentes subventions directes, indirectes et garanties financières publiques dont bénéficient les exploitants, 2) le coût de l'assurance qu'ils supportent, loin de couvrir le coût total d'un accident majeur, et 3) la faiblesse des hypothèses sur les coûts à long terme (gestion des déchets, démantèlement) utilisées pour le calcul des provisions correspondantes.

[17] Un chiffre qui peut être comparé aux 28,4 €/MWh projetés en 2003 par le gouvernement français, et qui ont servi de base à la décision d'engager la construction de l'EPR de Flamanville-3, dont le coût de construction a plus que triplé pour dépasser 10 milliards d'euros.

3.4. Un levier d'action insuffisant…

Alors qu'il n'existe aucun cas de pays ayant ramené ses émissions de gaz à effet de serre à un niveau soutenable grâce au nucléaire, le recours à de nouveaux réacteurs pour réduire les émissions apparaît désormais dans tous les cas plus lent, plus difficile et moins efficace sur ce plan que le déploiement d'autres options.

Des effets peu évidents et lents

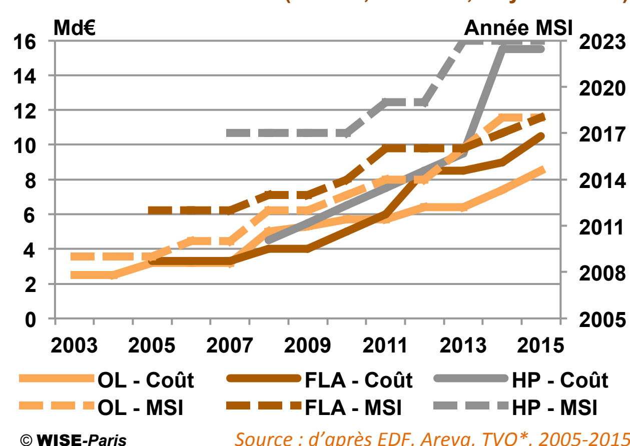
Seuls 31 pays dans le monde exploitent des centrales nucléaires. La présence du nucléaire dans le « mix » électrique permet d'abaisser leurs émissions par rapport au recours à des centrales thermiques, comme en France. Aucun de ces pays n'apporte pour autant la démonstration que le nucléaire lui permet d'atteindre le niveau de « décarbonisation » de son énergie compatible avec les objectifs de lutte contre le changement climatique à long terme. Il n'existe en fait pas de véritable corrélation entre ces deux facteurs.

Les États-Unis, qui sont longtemps restés le pays le plus émetteur de CO_2, en sont l'illustration : avec 99 réacteurs en exploitation représentant 33 % de la production nucléaire mondiale, ils sont aussi de très loin premiers dans ce domaine. Mais ils pèsent pour 12 % des émissions de GES, à un niveau 10 fois supérieur au seuil soutenable.

Ils illustrent également la difficulté à mobiliser davantage le nucléaire pour réduire leurs émissions : alors qu'ils en ont fait depuis 15 ans l'une de leurs priorités dans ce domaine, aucun nouveau réacteur n'a été mis en service depuis et seuls 5 chantiers de nouveaux réacteurs ont pu être engagés.

Pour les pays nucléarisés qui choisissent d'investir dans de nouveaux réacteurs, les délais et les surcoûts engendrés par ces projets privent de ressources et retardent la mise en œuvre d'actions plus efficaces, sans délivrer eux-mêmes aucun résultat. C'est le cas des réacteurs EPR en construction en France à Flamanville (FLA) et en Finlande à Olkiluoto (OL), ou de celui projeté à Hinkley Point (HP) au Royaume-Uni .

Dérive des chantiers EPR (France, Finlande, Royaume-Uni)

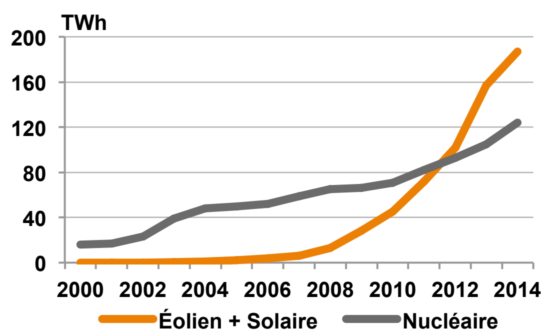


© WISE-Paris *Source : d'après EDF, Areva, TVO*, 2005-2015*

Une option secondaire en Chine

La Chine est le seul exemple actuel de réussite d'un programme nucléaire ambitieux, même si les chantiers y connaissent aussi du retard. Avec 24 réacteurs en construction pour 28 en exploitation, elle concentre 36 % des constructions mondiales. Ce parc reste toutefois très marginal à l'échelle de son système électrique.

Production électrique en Chine (éolien, PV, nucléaire)



© WISE-Paris *Source : WNISR (d'après BP*, AIEA), 2015*

Ce sytème reste fortement dominé par les centrales thermiques à charbon, dont la production a cependant baissé pour la première fois au 1er semestre 2015. Le nucléaire ne joue toutefois là encore qu'un rôle marginal dans cette évolution, derrière l'efficacité énergétique, l'hydroélectricité, et même l'éolien et le photovoltaïque, dont la production cumulée a décollé au cours des dernières années pour dépasser rapidement celle du nucléaire. La Chine devient le leader mondial de ces deux filières, et planifie aujourd'hui une croissance bien plus importante de leur production, donc de leur rôle dans la limitation de ses émissions de CO_2, que pour le nucléaire.

Un choix inapproprié pour de nouveaux pays

La rapidité avec lesquelles l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables peuvent être déployées à grande échelle, comparée à la lourdeur financière et à la lenteur et aux aléas de mise en œuvre des projets nucléaires, prive les nouveaux réacteurs d'une véritable justification climatique. En particulier, les pays qui ne possèdent pas encore de nucléaire et souhaitent s'engager dans cette voie, souvent poussés par d'autres motivations de nature géopolitique, disposent dans tous les cas d'autres ressources (efficacité et renouvelables) pour atteindre plus efficacement le même impact sur leurs émissions que celui attendu de réacteur(s) à construire. C'est d'autant plus vrai dans des pays qui ne disposent pas d'un réseau électrique de taille suffisante pour accueillir ce type d'installation, ou des compétences techniques et du cadre institutionnel nécessaires pour en garantir le contrôle.

3.5. Une option non nécessaire

Rien ne permet aujourd'hui d'affirmer qu'un pays a besoin du nucléaire pour réduire ses émissions. Au contraire, de nombreux pays démontrent, à des titres divers, l'efficacité d'autres options et la possibilité d'être vertueux sans compter sur le nucléaire, voire en s'en retirant.

La mise en œuvre d'alternatives

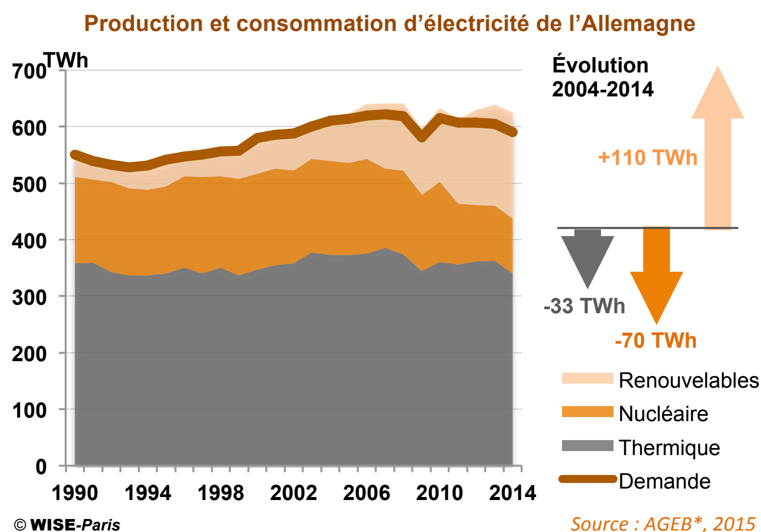
Il n'y a pas plus de corrélation entre refus du nucléaire et dérive des émissions qu'entre recours au nucléaire et vertu climatique. En Europe et dans le monde, des pays qui ont choisi de ne pas s'engager dans le nucléaire font la démonstration d'une politique efficace pour la maîtrise de leurs émissions dans le secteur électrique, même si leur action n'est pas toujours aussi vertueuse dans d'autres secteurs (où le nucléaire n'interviendrait pas en tout état de cause). L'Autriche, le Danemark ou le Portugal, par exemple, ont vu la part des énergies renouvelables dans leur consommation d'électricité croître régulièrement pour atteindre une proportion allant de 40 % à 70 %.

Les enseignements du Japon

Le Japon reste officiellement attaché à sa politique nucléaire. Mais suite à la catastrophe de Fukushima, tous ses réacteurs ont progressivement été arrêtés, et de septembre 2013 jusqu'au redémarrage d'un premier réacteur en août 2015, le pays s'est totalement passé d'une énergie qui fournissait en 2010, avec 54 réacteurs, environ 29 % de son électricité. Ce recul brutal s'est traduit par une hausse de 24 % du recours aux centrales thermiques, notamment au gaz naturel. Mais cette solution transitoire n'a couvert que la moitié environ du besoin. Avec 11 % de baisse de la consommation d'électricité entre 2010 et 2014, l'efficacité énergétique a fourni l'essentiel du complément, et ainsi remplacé en moins de quatre ans l'équivalent de la moitié du parc nucléaire japonais. Cette situation a également marqué le lancement d'un véritable programme de développement des énergies renouvelables, qui restaient jusque là fortement sous-exploitées au Japon, malgré leur important potentiel.

La démonstration proposée par l'Allemagne

La trajectoire suivie par l'Allemagne est particulièrement intéressante : celle-ci a en effet fait le choix, il y a plus de quinze ans maintenant, d'une transition énergétique combinant la sortie du nucléaire avec une forte ambition de baisse de ses émissions de gaz à effet de serre. Le résultat se montre, dans les faits, de plus en plus probant.



L'Allemagne a progressivement infléchi sa consommation d'électricité : celle-ci a reculé de 32 TWh, ou 5 % par rapport à son pic de 2007. Elle a parallèlement fortement encouragé les énergies renouvelables, déployant en quinze ans 57 TWh d'éolien, 35 TWh de photo-voltaïque, et 43 TWh de biomasse.

Ce mouvement a permis d'une part de respecter un calendrier de sortie du nucléaire établi dès 1999, mais accéléré après la catastrophe de Fukushima, tout en engageant d'autre part, malgré un rebond s'expliquant par une conjoncture particulière [18], une baisse du charbon dont la poursuite est programmée.

Contrairement à une idée reçue, cette évolution ne s'appuie pas sur le nucléaire français : l'Allemagne développe au contraire un solde de plus en plus exportateur, y compris avec la France. Elle s'avère surtout parfaitement cohérente avec les engagements climatiques de l'Allemagne, dès lors qu'on replace les émissions du secteur électrique, dont la baisse est amorcée mais reste difficile, dans l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre. Celles-ci ont baissé de près de 10 % depuis l'engagement de l'*Energiewende*, contribuant au dépassement par l'Allemagne de son objectif de 23 % de réduction entre 1990 et 2010.

[18] On peut notamment mentionner la remontée européenne des prix du gaz par rapport au charbon en 2012-2013, elle-même conséquence du développement des gaz de schiste aux États-Unis (se substituant sur place à du charbon), qui a conduit à un fonctionnement accru des centrales au charbon, en Allemagne comme partout en Europe.

3.6. Un obstacle à la transition énergétique

Si les nouveaux réacteurs ne constituent nulle part une option efficace, le maintien du nucléaire peut apparaître comme un atout là où il existe. En réalité, celui-ci constitue alors un frein à la réussite de la transformation du système énergétique, et à l'opportunité économique que celle-ci représente.

Le nucléaire existant dans la transition

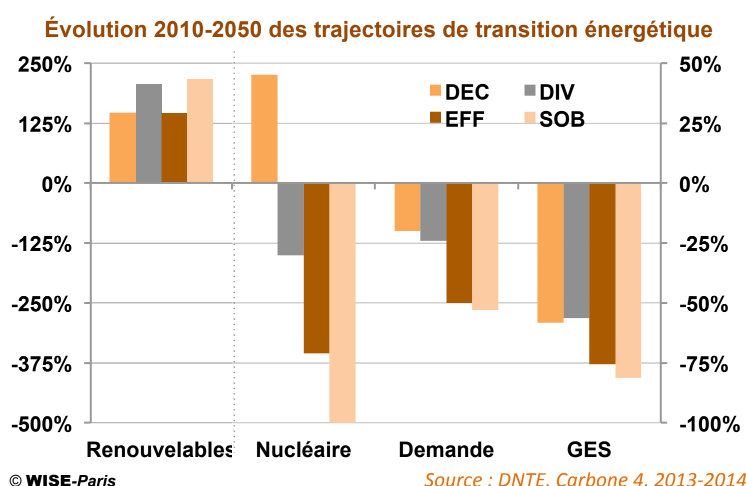
Le nucléaire ne constitue dans aucun cas la principale option pour atteindre un niveau soutenable d'émissions : la transition énergétique vers une consommation plus efficiente et vers une production renouvelable est la véritable clé de la lutte contre le changement climatique. Pour autant, la question peut se poser de la contribution du nucléaire existant dans le cadre de cette transition.

À première vue, celui-ci joue en effet un rôle positif. La réalité est cependant plus complexe. L'impact du nucléaire sur l'évitement d'émissions doit être mis en regard de son impact sur la mise en œuvre des nouvelles options. Par sa capacité installée, son fonctionnement « en base » (c'est-à-dire aussi continu que possible) et la structure hyper-centralisée du réseau électrique qu'il impose, celui-ci entre en fait rapidement en contradiction systémique avec le développement de solutions flexibles sur la demande et de productions variables et décentralisées. Au point de constituer un frein tel à la mise en œuvre des options les plus efficaces qu'il en devient contre-productif.

L'éclairage fourni par la France

Cette problématique est au cœur du débat sur la mise en œuvre de la transition énergétique en France. Elle a été très bien éclairée par l'examen, au cours du débat national organisé sur ce point en 2013 (DNTE*), des différents scénarios existants. Les trajectoires ont été classées en quatre grandes familles : deux qui misent avant tout sur la décarbonisation de la production, l'une essentiellement par le nucléaire (DEC), et l'autre avec un mix plus diversifié (DIV) ; deux qui s'axent beaucoup plus sur la maîtrise de l'énergie par une combinaison d'efficacité et de sobriété, avec à nouveau un mix plutôt diversifié (EFF) ou une préférence pour le tout renouvelables (SOB)[19].

Le bilan de ces trajectoires sur l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre est sans appel. Seuls les scénarios visant une réduction par deux de la consommation d'énergie permettent d'atteindre la réduction nécessaire, confirmant que cet aspect est essentiel. Mais les trajectoires atteignant cette performance sont également celles qui réduisent le plus, voire éliminent le nucléaire. En d'autres termes, le maintien du parc nucléaire françaisà son niveau actuel s'avère en fait incompatible avec le facteur 4. Les scénarios où sa baisse accélère la mise en œuvre d'autres options sont au contraire les plus performants.



Source : DNTE, Carbone 4, 2013-2014

L'opportunité du 100 % renouvelables

Cette transition énergétique vers la maîtrise de la demande et les énergies renouvelables apparaît de plus en plus non seulement comme une nécessité, mais aussi comme une véritable opportunité. En 2015, l'ADEME a rendu publique une étude sur le passage dans son scénario à 2050 à 100 % d'énergies renouvelables dans l'électricité. Celle-ci conclut que les potentiels assurent aujourd'hui la faisabilité d'une telle ambition, et démontre qu'un tel système ne serait pas plus coûteux que de maintenir 40 % de nucléaire dans la production électrique.

La transformation profonde du système énergétique est porteuse de retombées économiques très positives : la réduction de la facture énergétique de la France, qui a atteint jusqu'à 70 milliards d'euros d'importations d'énergies fossiles ces dernières années, l'efficience renforcée du système productif, et la création de très nombreux emplois non délocalisables dans l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables[20]. Le nucléaire existant, dont l'entretien représente une charge croissante, ne constitue pas une aide, mais au contraire un frein, à cette transformation bénéfique.

---

[19] Les quatre trajectoires représentatives sont inspirées plus spécifiquement des scénarios Négatep de Sauvons le Climat (DEC), du scénario central construit par le consortium ANCRE* (DIV), de celui de l'ADEME* (EFF), et de celui de l'association négaWatt (SOB).

[20] On estime ainsi à plus de 100 000 le nombre d'emplois créés dans ces secteurs par la politique de transition énergétique en Allemagne.

Synthèse

Des risques irréductibles

Le recours au nucléaire s'accompagne de risques spécifiques majeurs, qui peuvent être plus ou moins maîtrisés mais ne peuvent pas être éliminés. Le premier d'entre eux est historiquement le risque de prolifération, c'est-à-dire de détournement du nucléaire civil à des fins militaires, avec les conséquences désastreuses y compris sur le plan climatique d'un conflit nucléaire.

Les installations nucléaires représentent par ailleurs un risque technologique majeur d'accident, aux conséquences sanitaires, territoriales et économiques potentiellement très élevées. L'exploitation du nucléaire génère par ailleurs tout au long de sa chaîne, depuis l'extraction de l'uranium jusqu'à la gestion du combustible après utilisation, des pollutions et des déchets, dont les plus actifs restent à ce jour sans solution de gestion.

Ces risques, qui se sont accru avec le déploiement du parc nucléaire, augmenteraient inévitablement en cas de développement supplémentaire du nucléaire pour répondre à la lutte contre le changement climatique. De par leur nature et leur gravité, ils sont sans commune mesure avec les impacts et risques associés aux autres options de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Une efficacité limitée et déclinante

Bien que la production d'énergie dans un réacteur ne produise pas directement de CO_2, le nucléaire émet par son cycle de vie des émissions indirectes, significativement inférieures aux émissions des énergies fossiles mais non négligeables pour autant. Celles-ci doivent être comparées aux émissions « évitées » par le nucléaire lorsqu'il se substitue à d'autres productions, en tenant compte du développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, qui limitent progressivement cet impact.

La mesure de cette substitution montre qu'elle est historiquement restée limitée à quelques pourcents des émissions liées à l'énergie, sans jamais inverser depuis l'introduction du nucléaire dans les années cinquante la dynamique de forte hausse des émissions de gaz à effet de serre. Cette contribution a connu son pic vers l'année 2000 et recule aujourd'hui du fait du net déclin du nucléaire dans la production électrique mondiale.

Même là où il est davantage poussé, le nucléaire ne peut se substituer aux énergies fossiles que dans un champ très limité par rapport à l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre. L'exemple de la France montre qu'un mix électrique très majoritairement nucléaire ne suffit pas à respecter un niveau d'émissions totales compatibles avec les impératifs climatiques.

Un frein à la mise en œuvre d'une stratégie cohérente

Ainsi, pour être en capacité de jouer un rôle majeur dans une politique climatique ambitieuse, le nucléaire devrait connaître un changement d'échelle hors de portée dans les conditions actuelles. En fait, même un rôle plus mineur nécessiterait un effort considérable de maintien en fonctionnement du parc actuel et de construction de nouveaux réacteurs à un rythme jamais atteint.

Le recours au nucléaire contre le changement climatique ne peut en aucun cas constituer une solution suffisamment puissante pour s'affranchir d'un développement massif de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. L'idée qu'il resterait malgré tout indispensable dans ce rôle de complément est contraire à la réalité des difficultés actuelles du nucléaire en regard de la très forte dynamique de ces options.

Les coûts non maîtrisés et croissants du nucléaire et ses délais de déploiement le rendent partout de moins en moins pertinent en regard de la courbe d'apprentissage des énergies renouvelables, des gains économiques associés à l'efficacité énergétique, et de leur beaucoup plus grande rapidité de mise en œuvre. Ce constat prive pratiquement tout nouveau projet de réacteur nucléaire de justification vis-à-vis du changement climatique, en particulier dans les pays qui ne disposent pas encore de cette technologie.

Aucun pays n'apporte la démonstration que le nucléaire est la clé pour atteindre un niveau soutenable d'émissions. À l'inverse, des pays montrent la voie d'une trajectoire soutenable ne s'appuyant pas sur le nucléaire. En France, le maintien du nucléaire à un niveau élevé apparaît même comme un obstacle majeur à l'atteinte de cet objectif soutenable par une mise en œuvre suffisamment poussée de la maîtrise de la consommation et des énergies renouvelables.

Ainsi le recours au nucléaire n'est non seulement pas nécessaire, mais il s'avère contre-productif pour le déploiement d'une transition énergétique plus profitable et plus efficace, dont les premiers retours d'expérience montrent également l'opportunité économique et sociale.

Glossaire des sigles

ADEME Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AGEB Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., chargé du bilan énergétique pour le Gouvernement allemand

AIE Agence internationale de l'énergie (OCDE)

AIEA Agence internationale de l'énergie atomique (ONU)

ANCRE Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie

ASN Autorité de sûreté nucléaire

BP Beyond Petroleum

CGDD Commissariat général au développement durable

CITEPA Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

DNTE Débat national sur la transition énergétique organisé en France de décembre 2012 à juillet 2013

EDF Électricité de France

EPR European Pressurized Reactor

FAS Federation of American Scientists

F4 Facteur 4, ou division par 4 à l'horizon 2050 des émissions françaises de gaz à effet de serre

GES Gaz à effet de serre

GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

INESAP International Network of Engineers and Scientists Against Proliferation

IPFM International Panel on Fissile Materials

IIASA International Institute for Applied Systems Analysis

IRSN Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

JRC Joint Research Center (Commission européenne)

MOX Mixed Oxides (combustible à base de mélange d'uranium et de plutonium)

RMI Rocky Mountain Institute

RTE Réseau de transport d'électricité, gestionnaire de l'équilibre du réseau très haute tension français

START Strategic Arms Reduction Treaty

TNP Traité de non prolifération

TSP The Shift Project

TVO Teollisuuden Voima (compagnie nucléaire finlandaise)

WIPP Waste Isolation Pilot Plant, centre de stockage de déchets radioactifs à vie longue aux États-Unis.

WNA World Nuclear Association

WNISR World Nuclear Industry Status Report, rapport annuel publié par Mycle Schneider Consulting

WRI World Resources Institute

Principales références

1.1. Glaser A., Mian Z., *Global Fissile Material Report - Nuclear Weapon and Fissile Material Stockpiles and Production*, IPFM, mai 2015. http://fissilematerials.org/library/ipfm15.pdf

Starr S., « Catastrophic Climatic Consequences of Nuclear Conflict », *INESAP Bulletin 28*, 2008. http://www.nucleardarkness.org/warconsequences/catastrophicclimaticconsequences/

1.2. IRSN, *Méthodologie appliquée par l'IRSN pour l'estimation des coûts d'accidents nucléaires en France*, 2013. http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-PRP-CRI-SESUC-2013-00261_methodologie-cout-accident.pdf

2.1. Sovacool B., « Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey », *Energy Policy*, 36, avril 2008. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508001997

2.3. AIEA, *Climate Change and Nuclear Power 2014*, novembre 2014. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/ccanp2014web-14869824.pdf

Schneider M., Froggatt A. & al., *World Nuclear Industry Status Report 2015*, Mycle Schneider Consulting, juillet 2015. http://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/20150727MSC-WNISR2015-v3-HR.pdf

2.4. Marignac Y., *L'échéance des 40 ans pour le parc nucléaire français*, WISE-Paris, rapport commandé par Greenpeace, février 2014. http://www.greenpeace.org/france/PageFiles/266521/greenpeace-rapport-echeance-40-ans.pdf

2.5. CITEPA, *Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques*, 2014. http://www.citepa.org/images/III-1_Rapports_Inventaires/ccnucc_france_2014_sec.pdf

3.1. AIE, *World Energy Outlook 2010*, 2010. http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2010/WEO2010_es_english.pdf

3.2. GIEC, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report, 2014. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_technical-summary.pdf

REN21, *Renewables Global Status Report 2015*, 2015. http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report

3.3. Grubler A., *An Assessment of the Costs of the French Nuclear PWR Program 1970–2000*, IIASA, 2009. http://webarchive.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-09-036.pdf

Lovins A., Sheikh I., *The Nuclear Illusion*, RMI, 2008. http://www.rmi.org/Knowledge-Center/Library/E08-01_NuclearIllusion

3.5. Laponche B., « L'énergie au Japon en suite à Fukushima 2010-2013 », *Les cahiers de Global Chance*, n°36, novembre 2014. http://www.global-chance.org/IMG/pdf/gc36p47-65.pdf

Morris C., Pehnt M., Energy Transition - The German Energiewende, Fondation Heinrich Böll, 2015. http://energytransition.de/wp-content/themes/boell/pdf/en/German-Energy-Transition_en.pdf

3.6. Grandjean A. & al., *Étude des 4 trajectoires du Débat national sur la transition énergétique*, Carbone 4, 2014. http://www.carbone4.com/download/Etude_Trajectoires_DNTE_C4.pdf

ADEME, *Vers un mix électrique 100% renouvelable en 2050*, 2015. http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport100enr_comite.pdf

Le nucléaire est-il une option incontournable dans la lutte contre le changement climatique ? Cette question plus complexe qu'il n'y paraît trouve ici des éléments de réponse autour de trois volets complémentaires et indissociables d'analyse sur les risques, l'efficacité et la cohérence d'un tel choix.

Des risques irréductibles – Le recours au nucléaire s'accompagne de risques spécifiques majeurs, qui peuvent être plus ou moins maîtrisés mais ne peuvent pas être éliminés. Ces risques augmentent si le développement du nucléaire est encouragé, et sont sans commune mesure avec les impacts et risques associés aux autres options de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Une efficacité limitée et déclinante – L'action du nucléaire comme substitut à des technologies plus émettrices de gaz à effet de serre reste limitée au champ de l'électricité. Le développement du nucléaire n'a jusqu'ici jamais empêché la croissance mondiale des émissions. Son rôle est mineur et déclinant, alors même que d'autres options – l'efficacité et les renouvelables – rendent son impact de moins en moins pertinent.

Un frein à la mise en œuvre d'une stratégie cohérente – Le nucléaire ne peut en aucun cas constituer une solution suffisamment puissante pour s'affranchir d'un développement massif de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. La nécessité, la faisabilité et l'opportunité économique et sociale de ce développement sont de plus en plus démontrés. Dans cette perspective, le recours au nucléaire apparaît comme contre-productif pour le déploiement rapide de ces options plus profitables et plus efficaces.

Document réalisé sous la coordination du Réseau action climat - France, avec le soutien de :





GREENPEACE

reseau action climat france

HEINRICH BÖLL STIFTUNG UNION EUROPÉENNE



wise Amsterdam

Les Amis de la Terre

Créée en 1970, la fédération des Amis de la Terre a participé à la fondation du mouvement écologique français et à la formation du premier réseau écologique mondial Friends of the Earth International, présent dans 73 pays et réunissant plus de 2 millions de membres sur les cinq continents. En France, les Amis de la Terre forment un réseau d'une trentaine de groupes locaux et de groupes associés autonomes qui agissent selon leurs priorités locales et relaient les campagnes nationales et internationales sur la base d'un engagement commun en faveur de la justice sociale et environnementale.

www.amisdelaterre.org

France Nature Environnement

France Nature Environnement est la fédération française des associations de protection de la nature et de l'environnement. C'est la porte-parole d'un mouvement de 3 500 associations, regroupées au sein de 80 organisations adhérentes, présentes sur tout le territoire français, en métropole et outre-mer.

www.fne.asso.fr

Réseau action climat - France

Le Réseau Action Climat-France (RAC-F) est une association spécialisée sur le thème des changements climatiques, regroupant 16 associations nationales de défense de l'environnement, de solidarité internationale, d'usagers des transports et d'alternatives énergétiques. Le RAC-F est le représentant français du Climate Action Network (CAN), fort de 900 associations membres dans le monde.

www.rac-f.org

Greenpeace France

Greenpeace est une organisation indépendante des Etats, des pouvoirs politiques et économiques.
Elle agit selon les principes de non-violence et de solidarité internationale, en réponse à des problématiques environnementales globales. Son but est de dénoncer les atteintes à l'environnement et d'apporter des solutions qui contribuent à la protection de la planète et à la promotion de la paix.

www.greenpeace.fr

Réseau Sortir du nucléaire

Fondé en 1997, le Réseau « Sortir du nucléaire » rassemble autour de sa charte plus de 930 organisations partout en France, qui partagent une revendication pour une décision politique de sortie du nucléaire et de développement des alternatives énergétiques.

www.sortirdunucleaire.org

Fondation Heinrich Böll

La Heinrich-Böll-Stiftung (hbs - la fondation politique verte de l'Allemagne) est une agence pour des idées et projets verts, un atelier pour la réforme politique et un réseau international. Elle travaille avec une centaine de partenaires dans plus de 60 pays et possède des bureaux dans plus de 30 pays actuellement. Le bureau de liaison à Bruxelles maintient les contacts avec des ONG, associations et institutions européennes et internationales.

www.eu.boell.org

WISE Amsterdam

La mission de WISE Amsterdam est un monde sans nucléaire. Nous pensons qu'il est possible d'envisager un futur énergétique sûr, durable et accessible sans énergie nucléaire. Nous sommes convaincus que cela ne deviendra possible que si nous arrivons à faire pression pour impulser un vrai changement. La clé pour ce changement est d'augmenter notre capacité à agir. WISE Amsterdam soutient les groupes et militants de base pour leur permettre de s'opposer efficacement au nucléaire.

www.wiseinternational.org